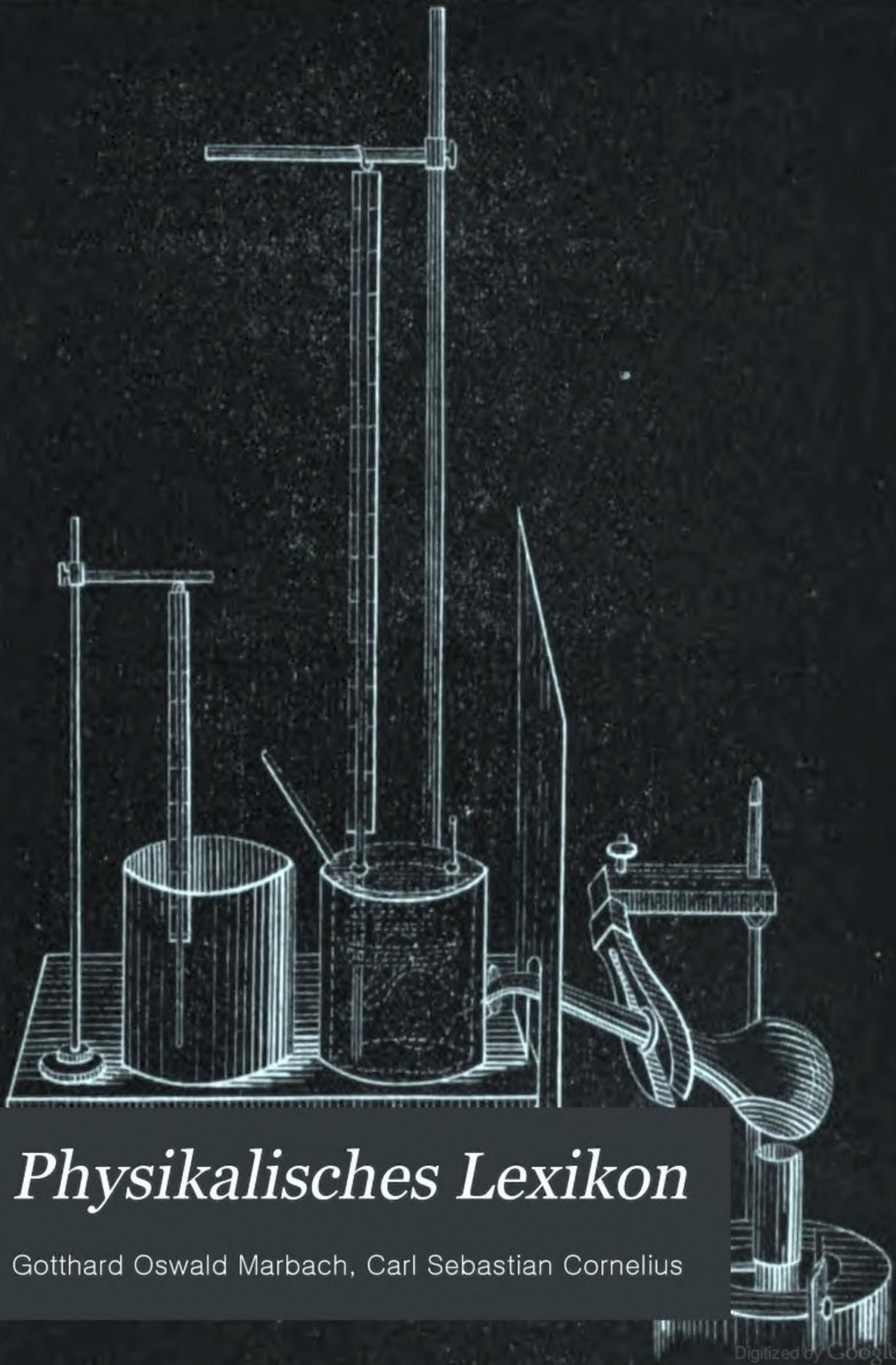


Physikalisches Lexikon

Gotthard Oswald Marbach, Carl Sebastian Cornelius

Marbach

Physikalisches Lexikon.

Encyklopädie

der

Physik und ihrer Hilfswissenschaften: der Technologie, Chemie, Meteorologie, Geographie, Geologie, Astronomie, Physiologie ꝛc. nach dem Grade ihrer Verwandtschaft mit der Physik.

Zweite,

in Verbindung mit mehren Gelehrten unter Benutzung der neusten Schriften des In- und Auslandes neu bearbeitete, mit Angabe der Literatur und der Quellen bereicherte, mit mehren Tausend in den Text gedruckten Abbildungen von Apparaten, Instrumenten und Maschinen ausgestattete und zahlreiche Tabellen enthaltende Auflage.

Begonnen vom

Professor Dr. Oswald Marbach.

Fortgesetzt von

Dr. C. S. Cornelius,

Docent der Physik an der Universität Halle.

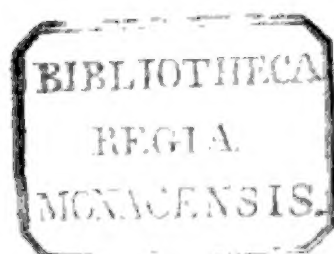
Zweiter Band.

D—E.

Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1853.



Vorwort.

Die schon ausgesprochene Tendenz dieses physikalischen Wörterbuches in zweiter Auflage ist durch die Uebernahme der Redaction von meiner Seite im Wesentlichen nicht geändert worden. Der praktische Standpunkt ist festgehalten, und angestrebt wird auch jetzt noch: Vollständigkeit in der Darstellung des Thatsächlichen, Uebersichtlichkeit innerhalb der vorgeschriebenen alphabetischen Ordnung, Beherrschung des weitschichtigen Stoffes im wissenschaftlichen Sinne, dazu genaue Angabe der Quellen und der beachtenswerthen Literatur. Die mechanischen, resp. technologischen Artikel finden eine ausführliche Bearbeitung, weil es allerdings wünschenswerth ist, den wohlthätigen Einfluß der Mechanik und Physik auf die Technik darzulegen. Was die mathematische Behandlung der Erscheinungen anlangt, so wird sich dieselbe zwar größtentheils im Gebiete der sogenannten elementaren Mathematik bewegen, doch sollen die Anfänge des höheren Calculs nicht verschmäht werden in Fällen, wo dadurch etwas an Tiefe der Einsicht gewonnen und an Weitläufigkeit erspart werden kann. Um aber auch hier verschiedenen Rücksichten zu genügen, werden die betreffenden Artikel so behandelt, daß dieselben auch ohne Beachtung der in ihnen vorkommenden höheren Rechnungsweise mit Nutzen gelesen werden können.

Da aber Beherrschung des weitschichtigen Stoffes im wissenschaftlichen Sinne bekanntlich nicht zu erreichen ist, wenn man von aller Theorie absehen will, so glaubte ich deshalb den theoretischen Anforderungen etwas mehr Rechnung tragen zu müssen, als vielleicht in dem ursprünglichen Plane, nach welchem dieses Werk angelegt ist, beabsichtigt wurde. Dies nun kann in der That recht wohl geschehen, ohne daß Theorie und Praxis einander im Wege liegen. Denn einmal läßt sich die Theorie hier, wie in jedem anderen Buche, meist an das Ende der Darstellung bringen, während außerdem die lexicalische Anordnung noch den Vortheil bietet, rein theoretische Betrachtungen in besondere Artikel zu verweisen. So wird das Werk an Gründlichkeit wie an

Vollständigkeit gewinnen, was den meisten Lesern, wie ich glaube, nur willkommen sein kann. Wohl in Jedem, der im Reiche der Erscheinungen orientirt und nicht ganz träge im Denken ist, regt sich irgend einmal das Bedürfniß einer tieferen Einsicht in den Zusammenhang der Erscheinungen, ein Streben, das ohne Theorie nicht befriedigt werden kann. Solche dagegen, welche wirklich höhere Wissenschaftlichkeit in sich tragen, werden die physikalischen Theorien gewiß nur ungern vermissen. Doch ist hier die theoretische Betrachtung nur in so weit zugelassen, als sie erfahrungsmäßigen Grund und Boden hat, und es wird ihr keine größere Ausdehnung gegönnt, als die anfänglich gesteckten Grenzen dieses Werkes erlauben.

Beiläufig sei hier erwähnt, daß die jetzt erscheinende Auflage fast durchweg neu bearbeitete Artikel enthält, und außerdem eine Menge neuer, welche in der ersten Ausgabe des Werkes fehlen. Schließlich noch die Bemerkung, daß durch Gewinnung neuer ausgezeichneter Kräfte die beste Hoffnung vorhanden ist das Werk in thunlichst kurzer Zeit zur Vollendung zu bringen.

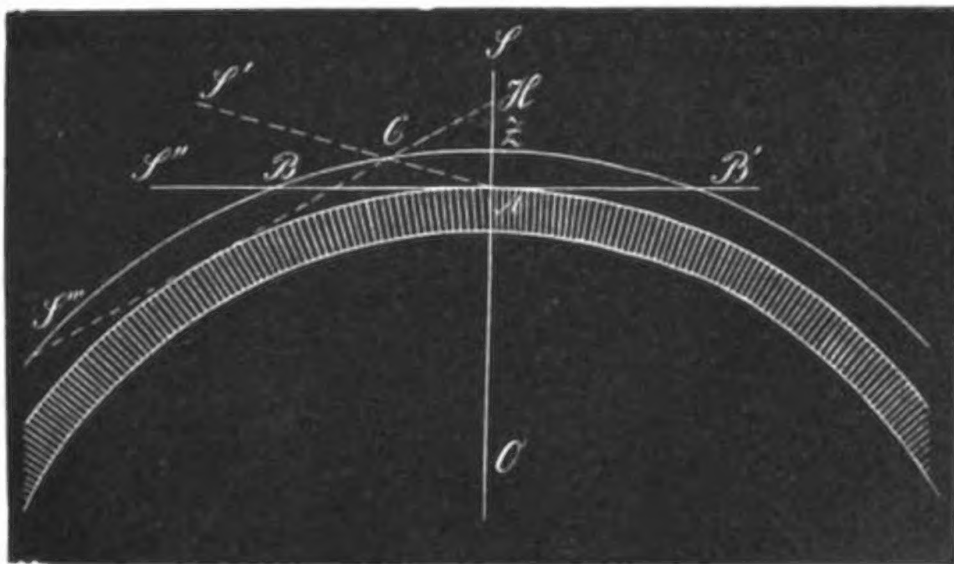
Halle, im Juli 1853.

C. S. Cornelius.

Dädaleum, s. Stroboskopische Scheiben.

Dämmerung (lat. crepusculum, franz. crépuscule, engl. the twilight), auch Zwielicht, wird die eigenthümliche Beleuchtung einer Gegend genannt, welche vor dem Aufgange und nach dem Untergange der Sonne eintritt, als Uebergang des Tageslichtes und der Nacht in einander, die eigenthümliche Färbung des Himmels, welche diesen Uebergang zu begleiten pflegt (Morgenroth, Morgenröthe, Abendroth, Abendröthe, lat. crep. matutinum et vespertinum), und die Zeit, während welcher die Erscheinung andauert.

Wenn in unsern Klimaten, sagt Becquerel *), an einem heitern Tage ein Beobachter die Bewegung der Sonne verfolgt und an einem Orte sich befindet, von welchem aus er den Himmel ringsum zu erblicken vermag, so wird er folgende Begebnisse bemerken: während des ganzen Tages bleibt der Himmel blau, aber je näher die Sonne dem westlichen Horizonte rückt, desto mehr beginnt sich dieser Theil der Atmosphäre gelb oder röthlich zu färben — eine Färbung, welche von der Dichte der Masse bewirkt wird, durch die hindurch die Sonnenstrahlen ins Auge des Beobachters gelangen. Gegen das Zenith hin wird der Himmel bleich; hierauf nimmt die Klarheit zu, indem sie sich dem östlichen Horizonte nähert, also auf der entgegengesetzten Seite von der Sonne. Um diese verschiedenen Wirkungen besser zu verfolgen, bezeichnen wir mit O die sphärische Masse der Erde; A sei der Ort des Beobachters an der Erdoberfläche, A Z die Höhe der



*) Bequerel elements de physique terrestre. p. 418.

Atmosphäre, oder vielmehr die Höhe derjenigen Lufttheilchen, welche dick genug sind, um noch Lichtstrahlen zu reflectiren; BB′ sei der Horizont, indem B im Westen, B′ im Osten sich befindet; die Ebene der Zeichnung endlich sei die des scheinbaren Kreises, welchen die Sonne durchläuft. Sobald die Sonne im westlichen Horizont bei B ankommt, so verbleibt nicht allein die gelbe und röthliche Färbung auf dieser Seite, sondern man bemerkt auch im Osten bei B′ eine röthliche, zuweilen ins Feuerroth gehende Färbung, welche ihren höchsten Glanzpunkt in dem Augenblicke erlangt, wo die Sonne unter dem Horizonte verschwindet. Diese Färbung rührt her von den letzten Strahlen der untergehenden Sonne, welche durch die Atmosphäre in der Richtung von BB′ hindurchgehen, die 25mal größer als AZ ist. Je nach dem Zustande der Atmosphäre variirt die Färbung bei B′ von Roth bis Purpur, indem zugleich, während die Sonne untergeht, die Farbenerscheinung bei B alle zwischen Gelb und Tiefroth liegenden Nuancen zeigt. Oft breitet sich diese gelbe Färbung bis in eine gewisse Entfernung am Himmel aus und vermischt sich mit dem Blau der Atmosphäre, indem sie auf einen Theil des Himmelsgewölbes einen grünen Schimmer wirft. Wenn der Beobachter fortfährt, den Himmel zu betrachten, so wie die Sonne unter den Horizont herabsinkt, so sieht er, wie in der Gegend des Ostens bei B′ ein dunkles Segment erscheint, über welches sich ein leuchtender Bogen erhebt, der in die rothe Farbenerscheinung ausläuft, von welcher wir so eben sprachen. Dieses Segment erhebt sich über dem östlichen Horizont B′Z, in dem Verhältniß, in welchem die Sonne im Westen unter B hinabsteigt. Es wird hervorgebracht durch den Schatten, den die Erde auf den Theil der Atmosphäre wirft, welcher dicht genug ist, die Lichtstrahlen unregelmäßig zurückzuwerfen. Dieser dunkle Raum ist von Mairan*) das Segment der Gegendämmerung oder kurzweg die Gegendämmerung (lat. anticrepusculum) genannt worden. Die bläuliche oder purpurne Färbung ist die Folge von der Erleuchtung des Schattens durch das zerstreute Licht. Der Bogen der Gegendämmerung ist also die Linie, welche den Erdschatten von dem Blau des Himmels trennt. Die Färbung desselben ist nach Mairan weißlich, orange und endlich in seinem obern Theile röthlich. Der oberste Punkt des Segments liegt der Sonne gerade gegenüber und es giebt dasselbe die Grenze des Erdschattens an; dieser nicht mehr von der Sonne beschienene Theil der Atmosphäre wird von dem zerstreuten Lichte erleuchtet, und da die von den Lufttheilchen reflectirten Strahlen vorzugsweise blau sind, so wird dieses auch die Farbe der von ihnen erleuchteten Gegend sein. So lange die obere Grenze des Erdschattens noch eine geringe Höhe hat, wird die rothe Färbung am westlichen und östlichen Himmel allmälig nach oben verwaschen, bei einer reinen, wenig Nebelbläschen enthaltenden Luft ist das Zenith noch blau; hatte aber der Himmel am Tage eine weißliche Farbe, so erscheint oft der ganze Himmel mehr oder weniger purpurfarben, weil wir nun im Zenith außer den blauen von der Luft reflectirten Strahlen auch die rothen von den tiefer liegenden Luftbläschen erhalten.

Je tiefer die Sonne unter den Horizont hinabsinkt, desto schwächer wird auch

*) Dieser Physiker hat die Beobachter auf das dunkle Segment aufmerksam gemacht, welches zuerst Functius 1716, dann Cramer bemerkten. Mairan, de l'Aurore boréale ed. II. p. 79. Funk, de coloribus coeli. p. 144. Bergmann, Beschreibung der Erdkugel. Bd. IV. S. 63. Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie. Bd. III. S. 51.

die Abenddämmerung, die Röthung im Westen wird tiefer und schärfer begrenzt; die Gegendämmerung steigt empor; ihr farbiger Lichtbogen löst sich von dem bläulichen Segment, welches bald graulich wird und erhebt sich immer schwächer werdend bis gegen das Zenith, wo man ihn bei sehr reiner Luft noch zu gewahren vermag. Nach seinem Verschwinden herrscht über den ganzen Himmel die graue Färbung und die Nacht ist gekommen. Zuweilen unter besondern Umständen beobachtet man andere Färbungen.

Kämtz macht darauf aufmerksam, daß die Beschaffenheit der Morgen- und Abendröthe von dem Ansehen des Himmels abhängt. Ist die Luft mit vielen zerstreuten Nebelbläschen angefüllt und hatte der Himmel am Tage ein weißliches Ansehen, so erscheint das Roth mehr oder weniger matt und häufig mit grauen Streifen vermischt, zuweilen von satter carmoisinrother Farbe. Die Abendröthe dagegen ist nach solchen Tagen, wo der Himmel dunkelblau war, stark ins Gelbe spielend. Befinden sich in der Atmosphäre leichte Wolken von der Cumulusformation, besonders lockere Cirrocumuli, so sind diese häufig ungemein schön roth gefärbt. Eben diese satte Röthung zeigen nach Kämtz's Erfahrungen auch die Nebel, welche sich in den Thälern am Abende bilden, wenn von ihrer Oberfläche das Licht der eben untergehenden Sonne oder der helle Schein des westlichen Himmels nach einem höheren Standpunkte reflectirt wird.

Zeigen sich solche isolirte, satt roth gefärbte Wolken, so bemerkt man zuweilen an dem Himmel eine mehr oder weniger grasgrüne Färbung. Schon Frezier nahm dieses wahr und in der Folge machte J. R. Forster darauf aufmerksam*); da Letzterer das Phänomen in der Nähe gelbrother Wolken bemerkt hatte, so glaubte er, es seien von diesen Strahlen nach dem blauen Himmel reflectirt und das Grün durch die Mischung beider Farben gebildet. Ebenso bemerkte Pleischl diese Erscheinung bei der Abendröthe**), ein Beobachter in München, Vieth***), Brandes****), Muncke†) und Kämtz haben das Phänomen häufig im Herbste und Winter beobachtet. Brandes ist geneigt, die Erscheinung aus einem Reflex von den grünen Wiesen abzuleiten, ebenso wie Bergmann dieselbe bei der Erfahrung Frézier's von dem grünen Seewasser entstehen ließ††). Kämtz ist jedoch der Ansicht, daß in den meisten Fällen, außer dem bereits von Forster angegebenen Umstande, eine andere Ursache angenommen werden muß. Da wir nämlich dieselbe Erscheinung auch über stark gerötheten Gletschern und Eisfeldern bemerken†††), so ist es wahrscheinlich, daß die Farbe subjectiv und durch den Contrast mit den benachbarten rothen Wolken hervorgerufen ist, wie dieses auch Bergmann vermuthet hatte und wie besonders aus dem Umstande hervorgeht, daß das Grün desto satter hervortritt, je länger man diese Stellen fixirt.

Mit dieser Stellung der Wolken steht, wie Kämtz bemerkt, ein Phänomen im Zusammenhange, welches man in der Schweiz häufig bemerkt, und welches das Glühen der Alpen heißt. Kurze Zeit nach dem Untergange der Sonne näm-

*) Forster, Bemerkungen auf einer Reise um die Welt. S. 99.
**) Schweigger, Jahrbuch. Bd. XXXIII. S. 227.
***) Allgemeine Zeitung 1818. Nr. 55.
****) Bei Brandes in Gehler's Wörterbuch N. A. Bd. I. S. 9.
†) Schweigger, Jahrbuch. Bd. XXXIII. S. 83.
††) Bergmann, phys. Beschreibung der Erdkugel.
†††) Roß, Entdeckungsreise. S. 79.

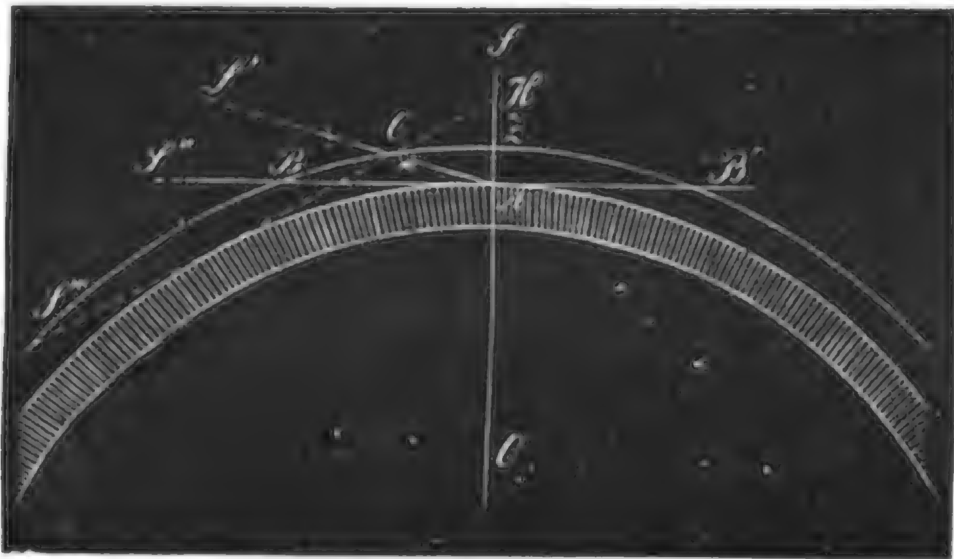
lich erscheinen die Berggipfel geröthet, diese Röthung wird dunkler und dunkler, bis sie, wenn die Bergspitzen in den Erdschatten kommen, gänzlich verschwindet. Die Gletscher zeigen sich dann mit einer graublauen Farbe. Zuweilen geschieht es, daß nach einiger Zeit sich eine zweite Röthung zeigt, die aber nicht so intensiv ist und nicht so lange dauert als die erste. Dieses Phänomen zeigt sich besonders dann sehr schön, wenn am westlichen Himmel lockere Cumuli oder Cirrocumuli stehen, dann haben die nackten Felsen ganz das Ansehen rothglühender Eisenmassen. So habe ich es, sagt Kämtz, häufig gesehen, nie aber schöner, als am 4. August 1832, wo ich mich zwischen Villeneuve und Bex befand und wo alle vor mir liegenden Walliser Berge hohen Feuerpyramiden glichen. Das Roth, welches sich einige Zeit nach dem Verschwinden des ersten zeigt, rührt unstreitig von einer Reflexion der Lichtstrahlen von der Atmosphäre her.

Necker de Saussure *), welcher die Abendröthe und die zweite rosige Färbung der Kette des Montblanc oft beobachtet hat, giebt derselben eine andere Erklärung. Wir theilen seine Beschreibung der Erscheinung, wie er sie zu Genf beobachtete, mit. Wenn die Sonne in Westen untergeht, sieht man alsbald gegen Osten die erwähnten Farbenerscheinungen; 23 oder 24 Minuten nach dem Untergange der Sonne, erreicht der Schatten den Gipfel des Buet, welcher sich zu einer Höhe von 3075 Meter über dem Meeresspiegel erhebt und $12^1/_4$ Lieues von Genf liegt; 3 Minuten später oder 27 nach Untergang der Sonne erreicht der Schatten die Spitze der Aiguille verte von 4081 Meter Höhe. Endlich wird auch der Montblanc, der am längsten beleuchtet bleibt und in einem orangefarbenen, zuweilen feuerrothen Lichte glänzt, ungefähr 29 Minuten nach Sonnenuntergang verdunkelt. Die Höhe des Montblanc beträgt 4810 Meter und ist 15 Lieues von Genf entfernt. Von diesem Augenblicke an ist eine düstere Färbung über diese Berggipfel gebreitet, aber sobald sich das Segment der Gegendämmerung erhoben hat, ungefähr 5 Minuten nach der Verdunkelung des Montblanc oder 33 Minuten nach dem Untergange der Sonne in der Ebene, färben sich die Schneegefilde des Montblanc von Neuem und darauf nach und nach auch die dem Beobachter näher gelegenen Berge. Diese zweite Färbung ist schwächer als die erste, und nimmt nach und nach ab bis zum Eintritt der Nacht. Nach Necker de Saussure beginnt die zweite Röthe des Montblanc am untern Theile des Gebirges, dann steigt sie nach und nach zum Gipfel empor, sowie das Segment der Gegendämmerung im Hintergrunde sich erhebt. Hiernach käme diese Färbung nur von dem Gegensatze, welcher zwischen der Beleuchtung des Berges und der Färbung des Himmels besteht, auf welchen er sich projectirt. In der That, in dem Augenblicke, wo der Berg sich zu verdunkeln scheint, färbt die Röthe der Gegendämmerung den Himmel und der Berg projectirt sich auf einem lichten Grunde; sobald aber das dunkle Segment der Gegendämmerung über dem Horizonte sich erhebt, verdunkelt sich der Himmel, und der Berg, der sich auf einem dunkeln Hintergrunde projectirt, erscheint in neuem Glanze. Hiernach würde der Montblanc fortwährend beleuchtet sein; aber indem seine Färbung ohne Unterbrechung abnimmt, käme das zweite Licht-Maximum daher, daß sich der Berg in diesem Augenblicke auf dem schwarzen Hintergrunde des dunkeln Segments der Gegendämmerung projectirt. Man kann dieser Annahme entgegenhalten, daß die näher liegenden und niedrigeren Berge erst nach

*) Ann. de phys. et de chim. T. LXX. p. 112. Becquerel, phys. terr. p. 420.

dem Gipfel des Montblanc sich färben, und daß die zweite Färbung an einem Berge desto länger sich verzögert, je näher dieser ist. N. de Saussure erwidert auf diesen Einwurf, daß dieser Widerspruch nur scheinbar sei, und daß die oben angeführten näher liegenden Berge in Folge ihrer größern Nähe unter einem größern Gesichtswinkel gesehen würden, als der Montblanc und sich folglich auf den höher liegenden Theilen des Himmels projectirten, zu denen das dunkele Segment der Gegendämmerung später hingelangt.

Indem der Dämmerungsbogen der röthliche Bogen des westlichen Horizontes B ist, wenn die Sonne hinter diese Ebene hinabsinkt und der Gegendämmerungsbogen die krumme Linie, welche den auf die Atmosphäre projectirten Schattenkegel des festen Erdkörpers begrenzt, so befindet sich, wenn die Sonne in S''' steht, der höchste Punkt dieser Curve bei C, vorausgesetzt, daß S''' C die Tangente an die Erde von S''' aus ist und ohne Rücksicht auf die atmosphärische Refraction. Man nimmt gewöhnlich an, daß die Sonne beim Verschwinden der Dämmerung 17° oder



18° unter dem Horizont sich befinde, aber unter günstigen Verhältnissen sieht man nach dem Aufhören der Dämmerung im Westen bei B einen weißlichen Schein, welcher sich zuweilen ziemlich hoch über den Horizont erhebt. Dieser Dämmerungsschein entsteht nach Biot nicht etwa von der Erleuchtung der Lichttheilchen B C durch die directen Sonnenstrahlen, sondern durch eine Zurückwerfung, die von der Beleuchtung der Atmosphäre, durch den Theil S''' B C ausgeht, welcher von der Sonne direct erleuchtet ist. Auf diese Art wirkt der Theil S''' B C der Atmosphäre, sowie die Sonne unter den Horizont herabsinkt, wie eine Anzahl leuchtender Körper, und erzeugt einen zweiten Dämmerungsraum, wenn der Raum B C, der in verschiedenen Nuancen gefärbt ist, und von welchem wir bereits gesprochen haben, der erste Dämmerungsraum ist. Auf gleiche Weise kann man noch einen dritten und vierten Dämmerungsraum annehmen; aber da schon die zweite Dämmerung nur als ein bleicher Schein sich darstellt, so ist es wenig wahrscheinlich, daß die folgenden wahrnehmbar sein können. Es scheint nicht, daß man in unsern Gegenden in der Ebene die zweite Dämmerung sehen könne, aber auf den Bergen kann man sie wahrnehmen, z. B. auf dem Col du Geant will sie Saussure mit einer Höhe von 30° beobachtet haben, als die Sonne 22° unter dem Horizonte stand.

Unter übrigens gleichen Verhältnissen endet im Allgemeinen die Dämmerung, wenn die Sonne 17° oder 18° unter dem Horizonte steht; da aber die physischen Bedingungen der Erscheinung je nach den Jahreszeiten, der Färbung der Luft und des Gewölkes in Folge des Zustandes der Atmosphäre sehr veränderlich sind, so ist es unmöglich, ihre Dauer genau zu bestimmen. Um jedoch zu zeigen, wie die Dämmerung in unseren Klimaten sich zeigt, wollen wir die Resultate der Beobachtungen anführen, welche Bravais und Martins vom 17. Juli bis zum 5. August 1841 auf dem Faulhorn gemacht haben. Für einen Beobachter unter diesen Verhältnissen beginnt die Röthung vor dem scheinbaren astronomischen Untergange der Sonne, wenn der Mittelpunkt derselben ungefähr in einer Winkelhöhe von 1° über dem Horizont sich befindet; der Bogen der Gegendämmerung erhebt sich im Augenblicke des scheinbaren Unterganges, geht nach 25′ oder 30′ durch das Zenith, und braucht dann eine gleiche Zeit, um den westlichen Horizont zu erreichen. Die Röthung kann sich über den Untergang dieses Gestirnes hinaus verlängern, wie wir weiter oben gesehen haben; dann ist sie nach diesen Beobachtern eine Zurückwerfung der ersten Röthung. Nach den Berechnungen von Bravais besitzen die Schichten der Atmosphäre das Vermögen, die rothen Strahlen, welche die Atmosphäre beim Sonnenuntergange färben, zu reflectiren, nur bis zu einer Höhe von 1000 Meter. Diese Grenze liegt gegen die Polarkreise zu tiefer, gegen den Aequator zu höher.

Die Beobachtungen der Grenzen der Dämmerungscurven lassen sich besser auf den Bergen anstellen, als in der Ebene. Man kann dort in Folge der heiteren Nächte sogar die Rotation der Dämmerungscurve, welche die erste Dämmerung von der zweiten trennt, verfolgen. Wenn an einem Tage viel condensirter Wasserdampf (Dunst) in der Atmosphäre ist, so daß der Himmel glanzlos erscheint, dann ist die Dämmerung lang. Wenn die niedergeschlagenen Dämpfe in der Atmosphäre eine sehr bedeutende Höhe haben, während die unteren Luftschichten sehr durchsichtig sind, so kann die Dämmerung ungewöhnlich lange dauern. Besonders zeichnete sich, wie Kämtz *) bemerkt, der Sommer des J. 1831 aus. Es zeigten sich ungewöhnlich lange Abendröthen von Madrid bis Odessa, und die Zeitungen waren damals mit Nachrichten aus allen Gegenden Europa's erfüllt **). Eine solche lebhafte Röthe zeigte sich besonders in der Nacht vom 4. bis 5. August, wo Kastner sie in Erlangen ***) beobachtete. Sie zeigte sich zuerst daselbst am nordöstlichen Himmel und war am stärksten in NNO.; der westliche Himmel war während der Dauer des Phänomens ganz dunkel. Weißliche Wolken schimmerten durch die Röthe hindurch und im Vorgrunde desselben schwammen einzelne Regenwolken, Ueberreste eines zuvor in derselben Nacht zur Entladung gelangten Gewitters, dem starke Regengüsse gefolgt waren. Noch beträchtlicher war die Röthung am 24., 25. und 26. Septbr., über welche wir namentlich von H. W. Brandes genauere Nachrichten besitzen †). Am 25. August schien gleich nach Sonnenuntergang die Sonne nichts Ungewöhnliches zu haben, aber etwas später ging die Farbe des Him-

*) Meteorol. Bd. III. S. 58.

**) Vrgl. Kastner, Archiv für Chemie und Meteorologie, Bd. IV. u. V., wo diese Nachrichten gesammelt.

***) A. a. O. Bd. IV. S. 125. Bei einer Breite von $49^1/_2$° und einer nördlichen Declination von $17^1/_4$° ist die Tiefe der Sonne während dieses Phänomens etwa 13°.

†) A. a. O. Bd. IV. S. 387.

mels in ein viel dunkleres Orange über, und dieses Licht war bei der jetzt schon zunehmenden Verminderung des Tageslichtes auffallender als vorher. Das Licht der Abendröthe nahm ungewöhnlich langsam ab und ging dabei (was freilich ganz in der Ordnung ist) mehr in Roth über. Der nun allmälig immer mehr auf einen kleinern Raum beschränkte, erhellte Theil des Himmels lag genau in der Gegend, wo die Sonne unter dem Horizonte stehen mußte, und war selbst noch kurz vor 8 h. sichtbar *). An den folgenden Abenden war es ziemlich ebenso, und am Morgen haben Personen, die eine freie Aussicht nach Osten genießen, auch die Morgenröthe ungewöhnlich gefunden. Nees von Esenbeck beobachtete das Phänomen auf der Hampelbaude an der Schneekoppe in Schlesien **). Am 24. Aug. war von dort aus gesehen die Röthe sehr unbedeutend und gleich einem starken, durch Dunst getrübten Abendrothe. Am 25. unmittelbar nach Untergang der Sonne überzog sich der Himmel mit einer tiefen, wie durch Dünste umschleierten Röthe, die den ganzen Horizont umgab und die über dem Scheitel in röthlichen Streifen sich zu verbinden schien. In diesem Augenblicke erhob sich schnell ein heftiger Sturm aus SW., der die ganze Nacht hindurch, aber allmälig abnehmend, anhielt, während die Röthe gegen 9 h. verschwand. Am 26. war das Phänomen nur in geringer Ausdehnung, aber ohne Sturm beobachtet worden. H. W. Brandes, welcher noch mehrere ältere Beobachtungen einer so lange dauernden Dämmerung hinzufügt, ist der Meinung, daß man zur Erklärung der Erscheinung keineswegs genöthigt sei, mit Kastner einen kosmischen Hehrrauch anzunehmen; Kämtz meint, daß man das Ganze aus sehr hoch gehenden Dünsten ableiten könne. Dieses beweisen die nicht bedeutenden Tiefen, welche die Sonne am Schlusse der Erscheinung hatte. Das Barometer war seit dem 24. in Halle im Sinken begriffen und der Himmel nicht sehr dunkelblau, obgleich es sonst heiter war. Auch Schwabe nennt den Himmel in Dessau wolkenfrei, jedoch sehr dunstig ***), und Osann †) hörte von einer glaubwürdigen Person, sie habe in Würzburg an einem der Tage, an welchem die Erscheinung beobachtet wurde, Nachmittags die Sonne matt wie den Mond und von schwach violettem Lichte gesehen. Diese Witterungsdisposition, ähnlich derjenigen, welche Gewittern voraufgeht und wobei die feinen Cirri sehr hoch schwebten, scheint sich über einen großen Theil von Europa erstreckt zu haben; nicht nur ist in mehrern der obigen Berichte von Stürmen und Gewittern die Rede, sondern eben dieses war auch im südlichen Europa der Fall, wie namentlich der heftige Orcan bei Messina am 27. beweist. Ueberhaupt zeichnet sich der ganze Sommer 1831 durch heftige Gewitter und in Westindien durch Orcane aus. Am 3. Aug. und in den folgenden Tagen war die Helligkeit der Dämmerung ausgezeichnet in Odessa, Deutschland, Rom und Genua, aber gleichzeitig waren nach Zeitungsberichten sehr heftige Gewitter in vielen Gegenden, sowie in Navarra und Aragonien, zu San Georgio Canavese (mit Hagel); in Schlesien, in der Schweiz und Tyrol war der mit einem Gewitter verbundene Fön so heftig, daß eine starke Ueberschwemmung folgte, und selbst in dem Antillen-Meere waren hef-

*) Auch Schwabe in Dessau giebt die Zeit gegen 8 h. als Moment des Verschwindens an. Kastner's Archiv. Bd. IV. S. 393. Die Tiefe der Sonne ist alsdann etwa $19^1/_2{}^0$.

**) Kastner's Archiv. Bd. IV. S. 128.

***) Das. Bd. IV. S. 395.

†) Das. Bd. IV. S. 376.

tige Aufregungen der Atmosphäre, so am 11. auf Barbados und am 14. auf Jamaica, Haiti und St. Vincent heftige Orcane, die jedenfalls mit den heftigen Nordoststürmen in Verbindung standen, die am 16. und 17. auf Cuba und Louisiana fürchterliche Verwüstungen anrichteten.

Die älteren Astronomen bezeichneten als Ende der Dämmerung den Moment, in welchem Sterne der sechsten Größe in der Nähe des Zeniths sichtbar würden. Dieser Moment tritt aber keineswegs stets bei einem bestimmten Stande der Sonne unter dem Horizonte ein. Derselbe hängt vielmehr zunächst ab von der Schwächung, welche das Licht der Sterne beim Durchgange durch die Atmosphäre erleidet, und es ist klar, daß, wenn die Atmosphäre mit Dünsten bis hoch hinauf erfüllt ist, die Dämmerung desto länger dauern muß. Von großem Einfluß ist aber auch die Menge des in der Atmosphäre durch vielfache Reflexionen zerstreuten Sonnenlichtes. Dieser ist desto größer, je mehr die Luft mit Dünsten erfüllt ist. Auch aus diesem Grunde wird also durch eine dunsterfüllte Atmosphäre die Dämmerung verlängert werden. Ist dagegen die Luft rein, so wird sie leichter von den Strahlen der Sterne durchdrungen und enthält nach dem Sinken der Sonne unter den Horizont wenig zerstreutes Sonnenlicht, die Dämmerung tritt also schnell ein. In Dalmatien *) soll schon eine halbe Stunde nach Untergang der Sonne vollkommen Nacht eingetreten sein, d. h. unter einer Breite von 44° tritt im Sommer die Nacht schon ein, wenn die Sonne $4^1/_2{}^0$ unter den Horizont gesunken ist. Noch kürzer ist die Dämmerung zwischen den Wendekreisen. In Chili soll sie nach Acosta **) während der trockenen Jahreszeit nur $^1/_4$ Stunde dauern, in Cumana nach Humboldt ***) nur einige Minuten. Dasselbe bemerkte Andanson an den Mündungen des Senegal, Winterbottom an der Sierra-Leone-Küste, Cunningham †) in Paramatta. Alle Reisende im Innern von Africa stimmen mit diesen Angaben überein. Dieses schnelle Eintreten der Nacht dürfte noch durch einen, wie es scheint, bis jetzt übersehenen Umstand begünstigt werden, nämlich durch den größeren Lichtglanz, welchen die Sonne in den Gegenden zwischen den Wendekreisen in Folge der Reinheit der Atmosphäre gewöhnlich hat; je mehr durch denselben die Augen afficirt werden, desto stärker empfinden diese dann auch das Aufhören dieses Glanzes. Es tritt also hier die Nacht aus demselben Grunde so schnell nach Sonnenuntergang ein, aus welchem man aus dem vollen Sonnenglanze in ein immerhin noch mäßig erhelltes Zimmer tretend, in diesem nichts als völlige Finsterniß wahrnimmt. Im Zimmer gewöhnt sich das Auge allmälig an die schwächere Beleuchtung und die Finsterniß klärt sich allmälig auf; dies kann aber beim Uebergange des Tages in Nacht nicht stattfinden, weil die Sonne nach dem Verschwinden fortfährt zu sinken, die Beleuchtung also nicht sich gleich bleibt, sondern mehr und mehr sich vermindert.

Da in den Polargegenden die Dämpfe sich sehr schnell und reichlich in Folge der Kälte niederschlagen, so darf man sich nicht wundern, wenn hier die Dämmerung sehr lange andauert ††), und das an die Dunkelheit gewöhnte Auge jeden

*) Germar, Dalmatien. S. 115.

**) Riccioli, Almagest. nov. T. I. p. 38. Bergmann in den Schwed. Abh. 1760. S. 241.

***) Humboldt, Voyage. T. XI. p. 17.

†) Cunningham, Zwei Jahre in Neu-Süd-Wales. S. 312.

††) Torfaei descriptio Groenlandica. c. XIV. La Peyrere Voyage au Nord. T. I. p. 126.

durch Reflexion noch zu ihm gelangenden Lichtschimmer wahrnimmt. Die Dämmerung währt noch, wenn schon die Sonne bis nahe an 30° unter den Horizont gesunken ist.

Man sollte meinen, daß auf hohen Bergen dieselben Bedingungen vorhanden wären, welche in den Aequatorialgegenden eine auffallend kurze Dämmerung verursachen. Die Berichte der Beobachter stimmen jedoch wenig mit einander überein. So sagt Hugi *) in seiner Reise nach dem Finsteraarhorn: „Die schon früher von mir und auch von Anderen gemachte Bemerkung fand ich auch hier bestätigt. In hohen Regionen der Atmosphäre tritt die Nacht früher ein, als in tieferen, und später erscheint dort der Tag. Um 9 h. hatten wir schon schwarze Nacht und um 6 h. früh kaum noch Tag, was schon auf dem Grimsel nicht ganz der Fall war. Mein ausgezeichneter Chronometer trog nicht, was aus nachheriger Vergleichung und selbst aus den Uhren der Gefährten hervorging. Freilich war das Wetter stürmisch und trübe; allein die Tage vor- und nachher erlebte ich in der Tiefe Gleiches. Daß auf sehr hohen Gebirgen bei gutem Wetter weder Morgen- noch Abendroth gesehen wird, ist ohnehin bekannte Thatsache. Und doch hört man oft, daß auf den höchsten Alpen die Nacht nur etwa drei Stunden dauere; daß, wenn das lang dämmernde Abendroth endlich verglimmt, man bald das Morgenroth gesehen haben will. Der Gebirgsforscher sieht in jenen Hochregionen die Nacht immer schnell, ohne allmäliges Verglimmen, ohne Abendroth bald nach dem Untergange der Sonne einbrechen. Da ich vor einem Jahre über das schauervolle Sulzband zog, sah ich nahe unter uns die Alp, wo wir die Nacht zubringen wollten. Wir waren überzeugt, die Hütte vor völliger Nacht zu erreichen; allein die Sonne ging unter am wolkenleeren Himmel, und schnell war die Nacht so schwarz, daß ich von den nur 6 bis 8 Schritt entfernten Begleitern keine Spur sehen konnte. So hatten wir bis Mitternacht zu tappen. Ebenso plötzlich erscheint der Tag mit der Sonne, da man ihn von oben herab in den Thälern zuerst erwachen sieht, wohin auch der oben verschwundene Tag sich zurück zu ziehen scheint."

Saussure **) sagt dagegen bei Aufzählung der auf dem Col du Géant beobachteten Thatsachen: „Unter den Erscheinungen, deren Grund in der geringen Dichtigkeit und der großen Durchsichtigkeit der Luft gesucht werden muß, ist die Dauer der Dämmerung eine der merkwürdigsten, denn in allen schönen Nächten, die wir vom 2. bis 19. Juli auf dem Col du Géant erlebt haben, war der Schein derselben vom Untergange der Sonne bis zu ihrem Aufgange wahrzunehmen." „Ich muß jedoch zuvor bemerken, daß man die ganze Nacht hindurch am ganzen Horizonte einen zwar blassen, aber nichtsdestoweniger bestimmten Schein wahrnahm, welcher allmälig bis zu einer Höhe von 20° bis 25° abnahm, worauf man das blaue Himmelslicht traf, welches von hier bis zum Zenith gleichförmig war. Ist dieser Schein etwa ein phosphorisches Leuchten einiger Dünste oder das in diesen Dünsten zerstreute Licht der Sonne? Ich wage es nicht, darüber ein Urtheil zu fällen. So viel ist wenigstens gewiß, daß es von keiner Reverberation des Schnees herrührte, weil die Schneemassen sich nicht, wie dieser Schein, rings um den Horizont herumzogen und weil er über den verschneiten Stellen weder heller, noch lebhafter zu sein schien."

---

*) Hugi, Naturhistor. Alpenreise. S. 183.
**) Saussure, Voyages. T. IV. p. 298. §. 2090.

„Außer diesem allgemeinen Scheine sah man in Westen ein Licht derselben Art, welches aber hier auffallend stärker war, als an dem übrigen Horizonte und etwa 8° bis 10° höher stand. Kurz nach dem Untergange der Sonne sah man es in Nordwesten; von dort ging es nach Norden, wo es sich um Mitternacht befand und bewegte sich dann nach dem östlichen Himmel. Anfänglich glaubte ich ein Nordlicht zu sehen; aber die vollkommene Gleichförmigkeit, die Ruhe und Regelmäßigkeit seines Ganges brachten mich von dieser Vorstellung zurück. Wir müssen also nothwendig annehmen, es sei entweder der Schein der Dämmerung oder die oberen, gewöhnlich unsichtbaren Theile des Zodiakallichtes, doch bin ich geneigter, es für die Dämmerung zu halten, weil es nicht die gegen den Horizont geneigte lanzenförmige Gestalt zeigte, sondern vielmehr, ebenso wie diese, eine gerade aufgerichtete, nach oben verwaschene Stellung hatte. Zwar haben die Astronomen die Dauer der Dämmerung nur bis zu dem Moment angenommen, wo die Sonne eine Tiefe von 18° unter dem Horizonte hat, während sie im Juli in dieser Breite um Mitternacht 45° unter dem Horizonte gefunden war. Indessen sind diese Bestimmungen in den Ebenen und nicht in der dünnen und durchsichtigen Luft eines hohen Berges gemacht worden."

„Hier sehen wir also", sagt Kämtz*), nachdem er diese Stelle angeführt, „zwischen den Behauptungen der beiden Reisenden, die am längsten in den höheren Alpen verweilt haben, einen auffallenden Widerspruch. Wir müssen jedoch bei dieser Discussion die beiden Fragen, wie lange ist das zerstreute Licht am Himmel sichtbar und wann erscheinen die Sterne? wohl unterscheiden. Letztere Frage anlangend, so wird es wohl sogleich klar, daß in den oberen Regionen die Sterne früher sichtbar werden, als in der Tiefe, theils weil ihre Strahlen weniger geschwächt sind, theils weil der Hintergrund, auf welchen sie scheinbar projicirt sind, weniger zerstreutes Licht reflectirt. Dieses bestätigen auch einige Messungen, welche ich im September 1832 auf dem Faulhorn angestellt habe. Der Jupiter, welcher zu jener Zeit kurz nach dem Untergange der Sonne eine geringe Höhe hatte, erschien einige Mal sogar, als die Sonne noch nicht ganz unter dem scheinbaren Horizonte verschwunden war. α Lyrae zeigte sich in der Nähe des Zeniths bei einer Tiefe der Sonne von $1\frac{1}{4}$ Grad, beim Polarsterne schwankte diese Tiefe bei mehreren Bestimmungen zwischen $1\frac{1}{2}$ und 3 Grad; an einem schönen Tage waren alle Sterne des großen Bären sichtbar, als die Sonne sich etwa $2\frac{3}{4}$ Grad unter dem Horizonte befand. Dieses sind in der That Größen, wie wir sie sonst nicht in diesen Breiten finden. In Halle habe ich selten weniger als 7 Grad für die Tiefe der Sonne gefunden, wenn der Polarstern sich zeigen sollte."

„An schönen Tagen scheint auch das Ansehen des westlichen Himmels in den höheren Schichten etwas in dem von der Tiefe abzuweichen, der Himmel ist nicht so roth, die Färbung ist goldgelb. Das rothe Segment, welches sich kurz nach dem Untergange der Sonne über dem Erdschatten am östlichen Himmel zeigt, ist dagegen tief purpurroth. So beobachtete ich den Vorgang an den schönen Tagen im September 1832; ob dieses allgemeine Regel sei, wage ich nicht zu behaupten, da auch in der Tiefe die Abendröthe zu jener Zeit sehr hell gewesen ist. Wenn aber der Erdschatten bis über das Zenith hinausgerückt ist und der Dämmerungsschein nur noch eine Höhe von einigen Graden hat, dann zeigt sich hier ein breitgedrücktes

*) Meteor. Bd. III. S. 62.

Segment von rosenrother Farbe, von welchem man zwar auch in der Tiefe zuweilen Spuren sieht, das aber in der Höhe mit einer Schönheit und Reinheit erscheint, daß ein jeder Reisender davon überrascht wird."

„Was endlich die Helligkeit betrifft, die von dem zerstreuten Himmelslichte herrührt, so kann ich meine Erfahrungen zwar nicht zu einer Prüfung der Ansichten von Hugi und Saussure benutzen, da ich nicht in so bedeutenden Höhen als sie verweilt habe; ist es mir indessen erlaubt, die Erfahrungen anzuführen, welche ich bei einem fast dreimonatlichen Aufenthalte auf dem Faulhorn in einer Höhe von 8200 Fuß gesammelt habe, so verdienen die Behauptungen von Hugi den Vorzug. Allerdings scheint es, als ob kurz nach dem Untergange der Sonne die Erleuchtung schneller abnehme als in der Tiefe, späterhin aber scheint es oben heller zu sein und eine ziemliche Helligkeit habe ich noch lange Zeit nach dem Untergange der Sonne am Horizonte wahrgenommen."

Es sei zur Andeutung einer möglichen Vermittelung der entgegengesetzten Beobachtungen Hugi's und Saussure's erlaubt, darauf aufmerksam zu machen, daß wenn die Spitzen hoher Berge in Folge der über ihnen lagernden reineren Luft sich auch unter ähnlichen Bedingungen in Bezug auf die Dämmerung befinden, wie die Tropengegenden, sie doch andererseits durch die niedere Temperatur, welche auf ihnen herrscht, den Polargegenden ähneln. Wie nun in den Polargegenden unstreitig weit weniger Massen von Dämpfen in der Atmosphäre sind als in den Tropengegenden, aber diese dennoch weit stärker sich niederschlagen zu nebligen Dünsten, so wird ähnliches auch von den Berggegenden gelten, und es dürfte hier also nur darauf ankommen, ob die Reinheit der Luft prävalirt oder die Niederschlag von Dampf bewirkende Kälte, um bald die von Hugi, bald die von Saussure beobachteten Erscheinungen hervorzubringen.

Die Morgenröthe oder die Morgendämmerung bietet dieselben Erscheinungen dar, wie die Abenddämmerung, aber in umgekehrter Reihenfolge, weil die Sonne durch Erhebung über den Horizont sie bewirkt; wir könnten also nur wiederholen, was wir bereits gesagt haben. Um aber den Verlauf der Erscheinung nach dem Stande der Sonne zu zeigen, führen wir am besten die Beobachtungen von Bravais auf dem Faulhorn an, welche in einer Höhe von 2683 Meter über dem Meeresspiegel angestellt wurden.

1) Die Sonne befindet sich 12° unter dem Horizont, 48 Minuten vor Sonnenaufgang. Im Osten sieht man einen röthlichen oder orangen Streifen, dessen Höhe fast gleich 0 ist. Ueber diesem orangen Streifen kann man fast noch gar keine Färbung erkennen. Die Höhe der Dämmerungscurve ist 7°. Der Raum zwischen beiden Bögen ist lichtblau, etwas heller als der übrige Himmel.

2) Die Sonne befindet sich 10° unter dem Horizont; das Gelb fängt an sich zu zeigen und seine Höhe erreicht 2° 30′ senkrecht über der Sonne; man sieht noch nichts von Grün. Die Höhe der Dämmerungscurve ist 12°.

3) Die Sonne befindet sich 8° unter dem Horizont. — Der rothgefärbte Theil breitet sich vom Horizont bis zu 1° 15′ aus; darüber gelbe Färbung bis 3° 10′. Ueber dem Gelb beginnt sich das Grün zu zeigen; der grünliche Streif erstreckt sich nicht über 5° Höhe. Darüber eine bläuliche Nuance bis 25°, wo die Grenze der Dämmerung.

4) Die Sonne befindet sich 6° unter dem Horizont. — Die Erhebung der gelben und orangen Streifen ist unverändert. Die gewöhnliche Färbung herrscht

bis zu einer Höhe von 7°. Der Himmel zeigt im Westen noch keine Spur von Erleuchtung.

5) Die Sonne befindet sich 4° unter dem Horizont. — Die Höhe der orangen und gelben Streifen hat sich nicht geändert. Der grünliche Streifen erreicht 12°. Ueber ihm beginnt sich ein Purpurstreifen zu zeigen, wenigstens unter günstigen Verhältnissen; er besteht nur während einiger Minuten und bildet sich nach dem Durchgange der Dämmerungscurve durch das Zenith. Die Sonne befindet sich dann zwischen 5° und 3° unter dem Horizont; niemals beobachtet man ihn vor oder nach dieser Zeit. Ungefähr bei 25° hat diese Röthe ihr Maximum der Intensität erreicht, über 45° geht sie nicht hinaus. Man bemerkt keinen gelblichen Rand, welcher sie von der darunter liegenden grünlichen Region trennt. Die Farbe des Zeniths ist blau, zuweilen auch leicht grünlich nach dem Westen zu. Der Bogen der Gegendämmerung zeichnet sich bei ungefähr 10° Höhe. Er zeigt kein brennendes Roth, sondern einen dunkeln bläulichen Ton, mit einem mehr oder weniger hervorstehendem Stich ins Purpurroth. Darunter erscheint der Himmel klarer.

6) Die Sonne befindet sich 2° unter dem Horizonte. — Die Morgenröthe beginnt gelblich zu werden, ihre Höhe bleibt dieselbe. Die obere Grenze des gelblichen Streifens ist stets bei 3° oder 3° 15′. Von da bis zu 18° Höhe zeigt sich eine intensivere grüne Färbung als in den früheren Perioden; die secundäre Purpurfärbung ist ganz verschwunden. Im Westen ist die Höhe des Bogens der Gegendämmerung 3°; die rothe Färbung erstreckt sich von 3° bis gegen 15° Höhe; das Roth hat nicht selten einen Stich ins Violette oder Purpur. Unter dem Bogen der Gegendämmerung hat man bis jetzt den von Kämtz angegebenen weißgelben Saum nicht entdecken können, aber das Blau des Himmels erscheint hier schwach grün, offenbar durch den Contrast. Ueber dem Roth herrscht das gewöhnliche Blau ohne andere Zwischennuance.

7) Die Sonne befindet sich im Horizont. — Die Sonne ist aufgegangen, ihre Scheibe und die sie umgebenden Theile der Atmosphäre zeigen nicht selten eine gelbliche Färbung und noch öfter eine orange; der Orangestreifen, welcher im östlichen Horizonte lagerte, verschwindet. Dieses Verschwinden ist, wenn es so langsam als möglich stattfindet, sobald die Sonne bei 1° oder 1° 5′ über dem Horizont steht, geschehen. Das Gelb besteht bis zu 3° Höhe; darüber bis zu 22° tritt das Grün ziemlich bestimmt hervor. Das Zenith ist blau. Im Westen ist die Gegendämmerung zum Horizont hinabgesunken; die Röthe erhebt sich bis zu 4° oder 5° Höhe. Das Gelb, welches darüber sich zu zeigen begann, als die Sonne 1° im Bogen unter dem Horizont stand, steigt jetzt bis zu 6° oder 7° Höhe. Ueber dem Gelb beginnt ein grünlicher Schimmer sich zu zeigen.

8) Die Sonne befindet sich 2° über dem Horizont. — Die Röthe hat den östlichen Horizont ganz verlassen, nur das Gelb hält sich noch, erbleicht aber mehr und mehr; die grüne Färbung übersteigt die Sonne und breitet sich bis gegen 25° Höhe aus; das Zenith ist blau. Im Westen ist der Bogen der Gegendämmerung vollkommen verschwunden; das Gelb besteht noch, seine obere Grenze geht nicht über 3° hinaus. Das Grün, welches über dasselbe hinausgeht, hat sein Maximum der Intensität bei 5° oder 6°, von da breitet es sich bis 10° Höhe oder selbst darüber aus. Es ist schwer, die Höhe des Punktes zu bestimmen, wo dieser Farbenstreifen an das Blau des Himmels grenzt.

9) Die Sonne befindet sich 4° über dem Horizont. — Auch das Gelb ist verschwunden; aber oft erhält sich noch das Grün, besonders in dem der Sonne gegenüberliegenden Theil des Himmels; diese letzte Spur der Morgenröthe schwindet mehr und mehr.

Diese Aufeinanderfolge der Farben bezeichnet nur das, was im Scheitelkreise der Sonne vorgeht. In den seitlichen Gegenden sinken im Allgemeinen die Trennungslinien zwischen den Farbenstreifen zum Horizont herab. Indeß hat diese Regel Ausnahmen. Das Roth ist hier weniger intensiv; aber zuweilen übertrifft das Grün die übrigen grünen Theile des Himmels, wenigstens einige Augenblicke vor dem Aufgange der Sonne.

Es verhält sich mit der Morgenröthe ebenso, wie mit der Abendröthe: die Dauer der Erscheinung hängt ab von der Höhe derjenigen Lufttheilchen, welche dicht genug sind, um reflectirtes Licht zu entsenden, und ändert sich mit dem Zustande der Luft. Im Allgemeinen dauert das Abendroth länger, als das Morgenroth.

Wir haben oben von den vorherrschenden Färbungen gesprochen, welche die Atmosphäre beim Niedergange und Aufgange der Sonne annimmt. Diese gelben und rothen Tinten sind eine Folge des Durchganges des Lichts durch die mit hinreichend dichten Wasserdämpfen angefüllten Luftschichten, und die grüne Färbung entsteht aus der Vermischung des Gelb mit dem Blau des Himmels. Wenn der Himmel beim Untergange der Sonne wolkig ist, so erscheinen die Wolken, wenn sie von geringer Dichte sind, selbst gefärbt durch die gelben oder rothen Strahlen der untergehenden Sonne, aber nur ihre Ränder, wenn sie sehr dicht sind. In dem letztern Falle können die Wolken eine violette Färbung haben, welche sich aus der Mischung des Blaugrau mit dem aus dem Contrast gegen das Roth sich ergebenden Grün ergiebt. Man begreift übrigens, wie viele verschiedene Lichteffecte sich zuweilen in den ungleich dichten Wolkenmassen ergeben müssen, wenn diese durch die farbigen Strahlen der untergehenden Sonne erleuchtet werden, sowie in den verschiedenen Theilen des Horizonts in dem Augenblicke, wo die Sonne den Augen des Beobachters sich entzieht.

Zuweilen bemerkt man leuchtende Säulen, Dämmerungsstrahlen genannt, welche durch die Beleuchtung der Atmosphäre entstehen, wenn in der Luft schwimmende Cumulus oder Cumulostratus durch helle Striche unterbrochen werden und die Sonne durchleuchtet. Man könnte ebenso gut sagen, diese Strahlen entständen durch Schattencylinder, die in die erleuchtete Atmosphäre projectirt wären. Wenn die Sonne ein wenig über dem Horizont steht, gehen die Dämmerungsstrahlen von der Sonne aus; wenn sie ein wenig unter dem Horizont, so erheben sie sich unter der Gestalt von Bogen großer Kreise in die Atmosphäre, welche nur durch eine Wirkung von Perspective divergent erscheinen und welche sich in einer, vom Beobachter nach dem Mittelpunkte der Sonne gezogenen Linie schneiden würden. Zuweilen zeigen sie sich der Sonne gegenüber und convergiren gegen den der Sonne diametral gegenüberstehenden Punkt.

Die Dämmerungsstrahlen sind nach gewissen Leuten ein Vorzeichen von Regen. Man kann dies in gewisser Beziehung zugeben, denn diese Erscheinung zeigt sich vorzüglich gegen Sonnenuntergang, im Augenblick, wo an schönen Tagen die Wolken fast verschwunden sind, oder auf dem Punkt des Verschwindens stehen; also dann, wenn die Atmosphäre mit Wasserdämpfen beladen ist, mithin die gün-

stigsten Bedingungen zur Erzeugung des Regens sich vereinigt finden; in diesem Falle ist der Regen sehr wahrscheinlich.

Wir haben oben gesagt, daß, wenn der Himmel mit Wasserdämpfen oder leichten Cumulostratus erfüllt ist, in dem Augenblicke, wo die Röthe der Gegendämmerung erscheint, nicht allein der Himmel in Ost und West roth ist, sondern fast der ganze Himmel diese Farbe annimmt. Wenn leichte Cirrus in der Atmosphäre schwimmen, so haben sich die Dämpfe gehoben und die Dämmerungen dauern sehr lange Dieser Zustand entspricht demjenigen, welcher den Gewittern vorausgeht, und daher stehen lange Dämmerungen zuweilen mit diesen Meteoren in Zusammenhang.

Das Aussehen der Abendröthe und die verschiedenen Nuancen, welche durch die Gegenwart von Dämpfen und Wolken erzeugt werden, können zuweilen als Anzeichen für den Zustand des Himmels und damit als Vorzeichen der Witterung des folgenden Tages dienen. So z. B. ist ein heiterer Himmel, ein reines Abendroth ohne Gewölk und in einem orangen Himmel ein Zeichen guten Wetters. Mehr oder minder starke, lebhafte Farben, welche die Gegenwart von Wasserdampf anzeigen, können je nach dem Augenblick, wo sie sich zeigen, mit großer Wahrscheinlichkeit Regen vorher verkündigen. Diese längst, besonders den Landleuten bekannten Thatsachen sind heut nicht minder zahlreich als sonst, und sind in verschiedenen Werken zusammengestellt Wir wollen nur folgende Bemerkungen hervorheben, welche Kämtz *) in seiner Meteorologie anführt.

„Wenn bei schönem blauen Himmel die Abendröthe den westlichen Himmel mit einem leichten Purpur sanft zu überziehen scheint, so bedeutet dieses ziemlich sicher fortdauernd gutes Wetter, besonders dann, wenn der Himmel in der Nähe des Horizonts ein rauchähnliches Ansehen hat. Selbst nach Regenwetter deuten einzelne geröthete Wolken, die sehr hell erleuchtet sind, auf die Wiederkehr von besserer Witterung. Eine weißlich gelbe Abendröthe, zumal wenn sie sich weit über den Himmel ausbreitet, pflegt eben kein schönes Wetter zu versprechen. Besonders deutet dieses Ansehn nach einer Regel der Landleute auf stürmisches Wetter, wenn die Sonne in einem so weißen Lichtglanze untergeht, daß man sie selbst in dem hellen Scheine, welcher den ganzen westlichen Himmel überzieht, nur wenig vorglänzend und dabei mehr weiß als gelb sieht. Noch schlimmer ist die Vorbedeutung dann, wenn feine Cirrus, welche dem Himmel ein sehr mattes Ansehn geben, am Horizonte dunkler erscheinen und eine röthlich graue Abendröthe bilden, in welcher abwechselnd glänzende dunkelrothe Stellen in graue übergehen und durch welche man die Sonne kaum bemerken kann. In diesem Falle, wo selbst beim Sonnenuntergange die Zahl der Nebelbläschen noch sehr groß ist, darf man auf einen baldigen Niederschlag und Wind rechnen **)."

„Etwas verschieden sind die Anzeigen der Morgenröthe. Wenn diese stark geröthet erscheint, so darf man meistens Regenwetter erwarten, während eine graue Morgenröthe mehr auf schönes Wetter deutet. Die Ursache des Gegensatzes zwischen grauer Morgen- und Abendröthe scheint darin zu liegen, daß am Abend diese Färbung vorzugsweise von Cirrus, am Morgen aber von einem Stratus in der

*) Kämtz, Vorlesungen über Meteorol. 497. — Met. Bd. III. S. 63. — Vgl. Brandes in Gehler's Phys. Lex. N. A. Bd. I. S. 13.

**) Humboldt, Voyage. T. II. p. 129.

Tiefe herrührt, welcher in kurzer Zeit den Strahlen der aufgehenden Sonne weicht, während sich jene meistens in der Nacht vermehren. Sind dagegen bereits beim Aufgange der Sonne soviel niedergeschlagene Dämpfe vorhanden, daß der Himmel roth erscheint, so wird es wahrscheinlich, daß im Laufe des Tages durch den aufsteigenden Luftstrom eine lebhafte Wolkenbildung erfolgt."

Wir haben bis jetzt vorzugsweise von der physischen Dämmerung gesprochen, welche von dem Verschwinden der letzten durch Lufttheilchen reflectirten Sonnenstrahlen abhängt. Unter der bürgerlichen Dämmerung versteht man die Zeit, welche von Sonnenuntergang bis zu dem Augenblicke vergeht, wo man zur Verrichtung von häuslichen Arbeiten oder von Geschäften im Freien künstlicher Beleuchtung bedarf: eine sehr unbestimmte Vorstellung.

Die astronomische Morgendämmerung fängt an, wenn die Sonne (ihr Mittelpunkt) des Morgens nur noch 18 Grad Tiefe unter dem Horizonte hat, und hört mit Aufgang der Sonne auf. Die astronomische Abenddämmerung fängt mit Untergang der Sonne an und hört auf, wenn die Sonne bereits eine Tiefe von 18° unter dem Horizonte erreicht hat *). Mithin muß die Dauer der Dämmerung nicht bloß an einem bestimmten Orte in verschiedenen Jahreszeiten eine verschiedene sein, sondern auch in verschiedenen Gegenden der Erdoberfläche zu gleicher Zeit des Jahres ungleich ausfallen, weil die Sonne nicht für alle Orte der Erde die Tiefe von 18°, d. h. den 18° unter dem Horizonte parallel mit diesem gezogen gedachten, Dämmerungskreis genannten Parallelkreis gleich schnell erreicht oder verläßt. Um nun bestimmen zu können, wann die Sonne für einen gewissen Beobachtungsort und für einen gegebenen Monatstag den Dämmerungskreis erreicht oder verläßt, sei σ der Stundenwinkel des eben 18° tief unter dem Horizonte stehenden Mittelpunktes der Sonne, p die geographische Breite des Beobachtungsortes und d die Declination der Sonne an dem gegebenen Monatstage, und man hat dann

$$\cos \sigma = -\frac{\sin 18^0}{\cos p \ \cos d} + \text{tang p tang d},$$

während die Gleichung $\cos s = -$ tang p tang d den Stundenwinkel s des so eben im Horizonte stehenden Sonnen-Mittelpunktes giebt. Endlich ergiebt sich offenbar durch die in Zeit verwandelte Differenz $\sigma - s$ die gesuchte Dauer der ganzen Dämmerung, und daß also obige beide Gleichungen die Beantwortung aller die Dämmerung betreffenden Fragen oder verschiedenen Fälle geben. Auf mechanische

*) Jos. Blancanus (Sphaera mundi lib. VI. c. 5. und lib. X. c. 16), Gassendi (Instit. astr. Paris 1647. p. 32), Lambert (Photometria §. 987.), Brandes (Gehler's Wörterb. N. A. Bd. II. S. 264) und v. A. gehen von dieser mittleren Annahme aus. Es fehlt jedoch nicht an abweichenden Bestimmungen, von denen Kämtz (Meteor. Bd. III. S. 33) folgende zusammenstellt. Die Tiefe, welche die Sonne beim Ende der Dämmerung hat, ist nach Strabo (Geogr. Par. 1620. p. 133) 17° 30′, nach Alhazen (De crepusculis in Risneri thesaurus) und Vitellio (Opt. in Risneri thesaurus lib. X. p. 60.) 19°, nach Nonius (De crepusculis prop. T. XVI.) 16°, nach Tycho de Brahe (Epist. astr. lib. I. p. 129.) und Cassini (Gregorii Astron. Geom. et Phys. ed. 2. T. I. p. 188) 17°, nach Rothmann (bei Tycho de Brahe a. a. O.) 24°, nach Riccioli (Almagest. nov. T. I. p. 39.) aus Beobachtungen in Bologna zur Zeit der Nachtgleichen bei der Morgendämmerung 16°, bei der Abenddämmerung 20° 30′, zur Zeit des Sommersolstitium bei der Morgendämmerung 21° 50′, zur Zeit des Wintersolstitium bei der Morgendämmerung 17° 25′.

Weise läßt sich die Dauer der Dämmerung mittelst eines Himmelsglobus leicht finden. Man stelle nämlich den Globus für den gegebenen Beobachtungsort, bestimme den Sonnenort in der Ekliptik und die Zeit des Sonnenunterganges, drehe alsdann die Kugel so, daß der Sonnenort unter den Horizont kommt und suche mittelst des sogenannten Höhenquadranten zu bestimmen, wann der Sonnenort die Tiefe von 18^0 erreicht. Nun giebt der Stundenzeiger des Globus die Zeit an, wann die astronomische Abenddämmerung ihr Ende erreicht. Die Morgendämmerung dauert ebenso lange als die Abenddämmerung an demselben Tage, auch kann man leicht ein ähnliches Verfahren anwenden, um die Dauer derselben besonders zu finden. Nimmt man statt 18^0 nur 6^0, so findet sich dadurch die ungefähre Dauer der physischen oder bürgerlichen Dämmerung.

Wenden wir uns jetzt wieder zu der astronomischen Dämmerung. Wird nämlich in der ersten der beiden oben gegebenen Gleichungen $\cos\sigma = -1$, d. h. wird $\sigma = 180^0$, so hört die Dämmerung gar nicht mehr auf, weil die genau 18^0 unter dem Horizonte stattfindende Tiefe der Sonne im nördlichen Meridiane selbst stattfindet. Ist nun aber $\cos\sigma = -1$, so geht jene erste Gleichung über in $-1 = -\frac{\sin 18^0 + \sin p \sin d}{\cos p \cos d}$ oder $\cos p \cos d = \sin 18^0 + \sin p \sin d$, woraus folgt:

$$\cos(p + d) = \sin 18^0 = \cos(90^0 - 18^0),$$

d. h. $p + d = 72^0$ und also $d = 72^0 - p$.

Wenn daher die Sonne diese Declination $d = 72^0 - p$ erreicht hat, so fangen alsdann für den Ort von der geographischen Breite p die sogenannten hellen Nächte an, in welchen also die Dämmerung gar nicht aufhört. Dies geschieht z. B. unter 49^0 nördl. Breite am 10. Juni, unter 50^0 am 1. Juni, unter 52^0 den 20. und unter 54^0 den 12. Mai 2c.; unter dem Nordpole selbst bereits am 29. Januar.

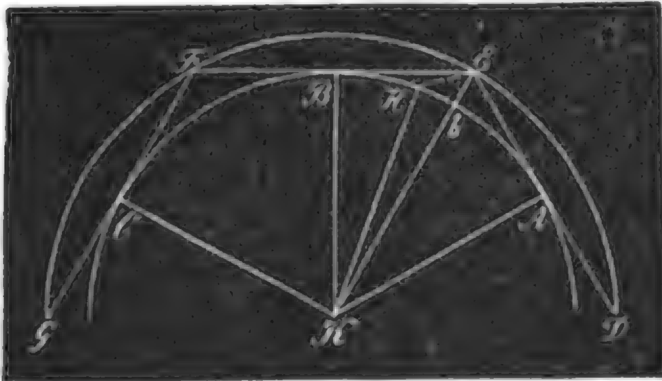
Das wichtige Problem: die Zeit des Jahres zu bestimmen, wo die Dämmerung unter einer bekannten geographischen Breite am kürzesten ist, hat die Mathematiker, namentlich auch Johann und Jacob Bernoulli *) vielfach beschäftigt. Das Resultat dieser Untersuchungen ist, daß die Dämmerung an demjenigen Tage am kürzesten ist, an welchem die Declination der Sonne d, durch die Gleichung $\sin d = \sin p \tan g\, 9^0$ bestimmt, beträgt, wo p die Polhöhe (geogr. Breite) des Ortes bezeichnet und die Tiefe der Sonne von 18^0 angenommen ist. Unter dem Aequator ist die Dämmerung am kürzesten für die Tage der Aequinoctien (weil dann $d = o$), und dann dauert dieselbe 1 St. 12 Min.

Die sogenannte astronomische Dämmerung und alle mit derselben zusammenhängenden Berechnungen beruhen auf der Voraussetzung, daß überall auf der Erde die Dämmerung dann ein Ende habe, wenn die Sonne bis zu 18^0 unter den Horizont gesunken sei. Diese Voraussetzung ist aber nicht richtig, indem wir schon oben gezeigt haben, daß auf die Dauer der Dämmerung noch andere Bedingungen, nämlich physikalische Verhältnisse der Atmosphäre von Einfluß sind, außer der Stellung der Sonne auf ihrer scheinbaren Tagesbahn.

*) Joh. Bernoulli Opera T. I. p. 64., Jac. Bernoulli Opera T. I. p. 516. T. II. p. 1073.

Ueber die Berechnung der Höhe der Atmosphäre aus der Dämmerung ist im Artikel Atmosphäre (Bd. I. S. 487.) gesprochen worden. Zu dem dort Gesagten füge ich noch die Betrachtung von Kämtz *) über diesen Gegenstand.

Befindet sich ein Beobachter in H und sieht derselbe in E die Grenze der Hauptdämmerung, so ist der Winkel, welchen EH mit dem Horizonte des Beobachters macht, die Höhe des hellen Bogens, welchen die Hauptdämmerung darstellen würde, wofern sich keine zweite Dämmerung damit mischte. Ist also A derjenige Punkt, wo die Sonne scheinbar untergeht, so sind in dem Vierecke KAEH alle Winkel und die beiden Seiten KH = KA gegeben, und daraus läßt sich KE bestimmen. Wenige Beobachtungen eignen sich dazu so gut, als diejenige, welche Lambert am 19. November 1759 zu Augsburg auf der Sternwarte von Brander anstellte. Der von ihm beschriebene Vorgang war folgender **):



4 h. 26′ Die Sonne geht unter.

4 h. 29′ Scheinbarer Untergang der Sonne, Anfang der Hauptdämmerung, Tiefe der Sonne 0° 33′.

4 h. 36′ Der Himmel wird am östlichen Horizonte dunkel, die Tageshelle nimmt jedoch noch wenig ab.

5 h. 0′ Die Nacht bricht schnell herein, die östlichen Fixsterne und der in der Nähe des Meridians befindliche Jupiter werden sichtbar.

5 h. 5′ Der östliche Himmel ist bis zum Zenith dunkel. Die östlichen Sterne funkeln.

5 h. 12′ Die Dunkelheit breitet sich bis über das Zenith hinaus fort; am westlichen Himmel läßt sich die Grenze des hellen und dunkeln Raumes erkennen, jedoch ist die Grenze noch nicht hinreichend scharf, um ihre Höhe zu messen.

5 h. 19′ Ohne Fehler läßt sich die Grenze der Dämmerung angeben, die Figur des Dämmerungsscheines ist mehr ein Stück eines größten Kreises, die Breite des Bogens ist auf jeder Seite des Verticalkreises, in welchem sich die Sonne befindet, etwa 90°, die Höhe seines höchsten Punktes etwa 8° 30′, Tiefe der Sonne 8° 3′.

5 h. 25′ Höhe des Dämmerungsscheines 7° 15′, Tiefe der Sonne 8° 59′, die Weite des hellen Segmentes unverändert.

5 h. 31′ Höhe des Dämmerungsbogens 7° 0′, Tiefe der Sonne 9° 55′.

5 h. 36′ Höhe des Dämmerungsbogens 6° 20′, Tiefe der Sonne 10° 42′.

5 h. 43′ Höhe des Dämmerungsbogens 5° 45′, Tiefe der Sonne 17° 48′.

5 h. 48′ Höhe des Dämmerungsbogens 5° 0′, Tiefe der Sonne 12° 35′, die Weite des hellen Scheins wird kleiner.

5 h. 54′ Höhe des Dämmerungsbogens 4° 30′, Tiefe der Sonne 13° 31′.

*) Meteorologie Bd. III. S. 67.
**) Lambert Photometria §. 1008.

5 h. 59′ Höhe des Dämmerungsbogens 3° 40′ Tiefe der Sonne 14° 18′.

6 h. 4′ Höhe des Dämmerungsbogens 3° 15′, Tiefe der Sonne 15° 5′, die Weite beträgt jetzt kaum 40°.

Hieraus läßt sich die Höhe des Dämmerungsscheines und damit die Höhe der Atmosphäre auf folgende Art herleiten. Befindet sich der Beobachter in H, so geht in dem Punkte A eben die Sonne unter, und da ihre Tiefe unter dem Horizonte des Beobachters H bekannt ist, so ist der Winkel HKA gleich dieser Tiefe minus Horizontalrefraction bekannt; da ferner HK und HA als Radien der Erde gegeben sind, so läßt sich HA berechnen. In dem Dreiecke EHA ist also die Seite HA gegeben; ebenso ∠ EAH gleich 90° minus Horizontalrefraction und ∠ HAK; aber HAK = 90° — ½ HKA; ebenso ist ∠ EHA = 180° — ZHE — AHK bekannt, folglich läßt sich die Distanz EH berechnen. In dem Dreiecke EHK sind also die beiden Seiten HE und HK nebst dem eingeschlossenen Winkel EHK gegeben, also ist auch EK und mithin Eb bekannt.

Kämtz wendet einige Beobachtungen von Lambert dazu an, die Höhe der Atmosphäre zu bestimmen. Lambert nimmt als Horizontalrefraction 33′; ohne diese Annahme zu kennen, hatte Kämtz 31′ 41″ angenommen; der daraus entstehende Unterschied ist so gering, daß er es nicht für nöthig hielt, die Rechnung mit der Angabe von Lambert zu wiederholen. Bei einer Tiefe der Sonne von 8° 3′ betrug die Höhe des Dämmerungsscheines 8° 30′. Wir finden nun:

∠ HKA = 8° 3′ — 31′ 41″ = 7° 31′ 19″.

HA = 2 r. sin 3° 45′ 29″ = 112,76 Meilen.

∠ AHK = ∠ HAK = ½ (180° — 7° 31′ 19″) = 86° 14′ 20″.

∠ ZHE = 81° 30′ — 6′ 25″ = 81° 23′ 35″.

∠ EHA = 180° — (81° 23′ 25″ + 86° 14′ 20″) = 12° 22′ 55″.

∠ EAH = 180° — (86° 14′ 20″ + 90° 31′ 41″) = 3° 13′ 59″.

∠ HEA = 180° — (12° 22′ 55″ + 3° 13′ 59″) = 164° 23′ 56″.

$$HE = \frac{HA \cdot \sin 3^\circ\, 13'\, 59''}{\sin 164^\circ\, 23'\, 56''} = 23{,}626 \text{ Meilen}$$

$$\text{tang } HKE = \frac{HE \cdot \sin 98^\circ\, 36'\, 25''}{r - HE \cdot \cos 98^\circ\, 36'\, 25''} = \text{tang } 1^\circ\, 33'\, 1''.$$

$$EK = \frac{HE \cdot \sin 98^\circ\, 36'\, 25''}{\sin HKE} = 863{,}45 \text{ Meilen.}$$

Höhe der Atmosphäre = EK — r = 863,45 — 859,50 = 3,95 Meilen.

Die Beobachtung um 5 h. 31′ giebt für die Höhe des Dämmerungsscheines 7° 0′, während die Tiefe der Sonne 9° 55′ war. Daraus ergiebt sich für die Höhe der Atmosphäre 5,1 Meilen.

In der letzten Beobachtung endlich war die Höhe des hellen Bogens 3° 15′ und die Tiefe der Sonne 15° 5′. Daraus folgen 9° 29′ für die Höhe der Atmosphäre. Wir sehen also, wie jede spätere Beobachtung eine größere Höhe giebt, und daraus müssen wir zum Theil die Abweichungen in den Bestimmungen verschiedener Astronomen ableiten. So geben Halley, Smith und Kästner 9½ Meilen, Kepler *) 10 Meilen, de Lambre **) 9½ Meilen, aber die

*) Kepler Epitome astron. p. 73.

**) Astronomie. 4. Paris 1814. T. III. p. 367.

meisten der gedachten Beobachter waren beim Ende der Dämmerung und einer Tiefe der Sonne von etwa 18° stehen geblieben. Schon Lambert *) und späterhin Brandes haben gezeigt, daß die Erscheinungen der Dämmerung keine hinreichend scharfe Auflösung des Problems zuließen. Ist nämlich die Sonne eben untergegangen so sieht der Beobachter im Osten den Erdschatten sehr scharf; denn da die Linien von seinem Auge nach der Grenze des erleuchteten Raumes noch sehr nahe mit den Lichtstrahlen zusammenfallen, so wird er wenig von fremdartigem Lichte gestört. Wenn der Erdschatten bis zum Zenith steigt, so wird alle Luft über dem Scheitel des Beobachters von dem zerstreuten Lichte der zweiten Dämmerung erhellt, und es wird jetzt weit schwieriger, die Grenze der Erleuchtung anzugeben. Sowie die Sonne tiefer sinkt, vermehrt sich dieses zerstreute Licht, der Beobachter wird also die Höhe der Dämmerung größer finden, als sie in der That ist, und so geben folglich spätere Beobachtungen eine größere Höhe der Atmosphäre.

Lambert hat es versucht, die Erleuchtung einer horizontalen Fläche durch das Licht der Dämmerung bei verschiedener Tiefe der Sonne zu berechnen **). Er nimmt zu diesem Behufe an, die Helligkeit der Hauptdämmerung sei stets dieselbe, und ihre Grenze ein größter Kreis. Ist dann a die Höhe des Scheitels dieses Kreises, so ist die Erleuchtung vermittelst der Hauptdämmerung gleich $1 \pm \cos. a$. Daraus ergiebt sich folgende von Lambert berechnete Tafel:

Tiefe der Sonne	Höhe der östlichen Dämmerung	Erleuchtung	Tiefe der Sonne	Höhe der westlichen Dämmerung	Erleuchtung
0° 0′	. . . . .	. . . .	6° 23′	90° 0′	1,000
0. 33	0° 0′	2,000	6. 32	60. 0	0,500
2. 36	2. 45	1,999	6. 41	41. 30	0,251
3. 21	3. 0	1,998	6. 50	29. 30	0,130
4. 5	5. 30	1,995	6. 59	22. 30	0,075
4. 50	8. 30	1,989	7. 9	17. 45	0,045
5. 1	10. 0	1,985	7. 18	15. 30	0,036
5. 10	11. 30	1,980	7. 27	13. 0	0,026
5. 19	13. 0	1,974	7. 36	11. 30	0,020
5. 28	15. 30	1,964	7. 45	10. 0	0,015
5. 37	17. 15	1,955	7. 54	8. 40	0,011
5. 46	22. 30	1,924	8. 41	5. 30	0,005
5. 56	29. 30	1,870	9. 27	3. 0	0,002
6. 5	41. 30	1,749	10. 14	2. 45	0,001
6. 14	60. 0	1,500	12. 13	0. 0	0,000
6. 23	90. 0	1,000			

Wenn auch die Formel, welche dieser Tafel zu Grunde liegt, vielleicht deshalb nicht ganz naturgemäß ist, weil darin weder auf die Vermehrung der Erleuchtung durch die zweite Dämmerung, noch auf ihre Verminderung durch die Lichtschwächung der Strahlen beim Durchgange durch die Atmosphäre Rücksicht genommen

*) Photometria §. 987.

**) Photometria §. 1524. ff.

wird, so eignet sie sich doch zu einer annähernden Darstellung der Abnahme der Helligkeit. Auffallend ist darin das Resultat, daß bei einer Tiefe der Sonne von etwa 6° die Helligkeit so ungemein schnell abnimmt, und dieses ist auch der Moment, wo die bürgerliche Dämmerung ein Ende hat. Es fehlt jedoch bisher noch ganz an directen Messungen, um die Abnahme der Helligkeit genauer zu bestimmen. Ueber die optischen Erscheinungen der Dämmerung vergl. d. Art. Himmel (Farbe desselben.)

Dämmerungskreis, Dämmerungsschein, s. Dämmerung.

Daguerreotypie, s. Lichtbilder.

Dampf (lat. vapor; franz. vapeur; engl. vapour, steam) nennt man in der Physik eine ausdehnsame Flüssigkeit, welche durch Druck und Temperaturerniedrigung in eine tropfbare Flüssigkeit umgewandelt werden kann, während man solche ausdehnsame Flüssigkeiten, bei welchen dies nicht der Fall ist, Gase nennt. Da nach theoretischer Betrachtung alle Körper höchst wahrscheinlich in jede der bekannten drei Aggregationsformen (s. d. Art. Aggregat) umgewandelt werden könnten, wenn man nur im Stande wäre, diejenigen Drucke und Temperaturen zu erzeugen, welche die Bedingungen des betreffenden Aggregationszustandes für den in Betracht kommenden Körper sind, so muß man auch annehmen, daß im Grunde alle ausdehnsamen Flüssigkeiten Dämpfe sind, d. h. daß eine jede bei fortwährend zunehmendem Drucke und bei fortwährend abnehmender Temperatur endlich in tropfbare Flüssigkeit umgewandelt werden müsse. Diese theoretische Auffassung hat auch insoweit experimentelle Bestätigung gefunden, als es gelungen ist, fast alle diejenigen ausdehnsamen Flüssigkeiten, welche man bisher für Gase gehalten hat, durch Druck und Temperaturerniedrigung in tropfbare Flüssigkeiten zu verwandeln. (S. d. Art. Gas). Indeß bezeichnet man doch noch alle diejenigen ausdehnsamen Körper als Gase, welche innerhalb der bei den Vorgängen in der Natur vorkommenden und in der menschlichen Thätigkeit üblichen und leicht erzeugbaren Temperatur- und Druckverhältnisse ihren Aggregationszustand nicht verändern. Im gewöhnlichen Leben versteht man unter Dampf häufig luftartige Körper, welche mit kleinen tropfbarflüssigen oder festen Bestandtheilchen gemischt sind, z. B. den Brodem aus siedenden tropfbaren Flüssigkeiten, welcher eigentlich zum Theil schon wieder in tropfbare Flüssigkeit niedergeschlagener Dampf ist, Nebel, Dunst, von dem dasselbe gilt, Rauch, welcher aus mit Aschentheilchen vermischten Gasen und Dämpfen besteht ꝛc.

Man unterscheidet die verschiedenen Dämpfe nach den tropfbaren Flüssigkeiten oder den festen Körpern, aus denen sie unter dem Einflusse der Verminderung des Druckes und der Erhöhung der Temperatur durch Umwandlung der Aggregatform entstehen, und spricht demgemäß von Wasserdampf, Weingeistdampf, Quecksilberdampf ꝛc. Die eigenthümliche Natur des Dampfes hat man besonders an dem Wasserdampfe studirt, welcher durch seinen großen Einfluß auf die Oekonomie der Natur und durch seine vielfache Verwendung in der Technik eine große Bedeutung erlangt hat.

Auch feste Körper verwandeln sich unter dem Einflusse der Temperatur in Dampf, und zwar auch ohne daß ein Durchgang durch die Form der Tropfbarflüssigkeit wahrzunehmen; z. B. Campher, Eis, Jod u. A. Man nennt nun solche Körper, feste und tropfbarflüssige, welche leicht verdampfen, d. h. schon bei gewöhnlichen Temperaturen in Dampfform übergehen, und sich so gleichsam selbst verzehren, indem die erzeugten Dämpfe unbemerkt entweichen: flüchtige Stoffe.

Es pflegt angenommen zu werden, daß es wahrscheinlich für alle Körper gewisse Temperaturen gebe, unterhalb welcher sie nicht mehr verdampfen; indeß die Versuche, durch welche man sich zu einer solchen Annahme berechtigt hält, sind solche, aus denen nur hervorgeht, daß die Mittel, welche Physik und Chemie auf ihrer gegenwärtigen Entwicklungsstufe an die Hand geben, das Vorhandensein von Dämpfen bei gewissen Temperaturen nicht aufzeigen. Im Art. Atmosphäre S. 487 ist eines hierher gehörigen Versuches von Faraday gedacht worden. Faraday nahm auf Grund desselben an, daß die Dampfbildung eine Grenze habe, welche da liege, wo die durch die Wärme bewirkte Abstoßung zwischen dem starren und flüssigen Körper und den Dampftheilchen von dem Gewichte der letzteren übertroffen werde. Da indeß das Gewicht der Dampftheilchen unstreitig abnimmt mit der Temperatur, bei welcher sich diese entwickeln, so ist mit dem angeführten Gesetze wenig gesagt. Ueber diesen experimentell noch wenig erforschten Gegenstand läßt sich nur soviel sagen, daß es aus dem Verhalten der mit Atmosphären ausgestatteten Weltkörper (vergl. d. Art. Atmosphäre) wahrscheinlich ist, daß jeder feste und flüssige Körper mit einer Dampfatmosphäre sich umgiebt, deren Höhe abhängig ist von der Kraft, mit welcher die Dampftheilchen am Schwerpunkte des Körpers festgehalten werden einerseits, und andererseits von der Expansivkraft, mit welcher sich jedes dieser Theilchen auszudehnen und demgemäß vom Schwerpunkte zu entfernen strebt. Die Temperatur steigert diese (s. d. folg.) und vermindert jene, insofern sie die Theilchen ausdehnt und also specifisch leichter macht. Wir wissen, daß jeder Dampf und jedes Gas, indem es sich durch eine andere ausdehnsame Flüssigkeit hindurch ausdehnt, in dieser einen gewissen Widerstand findet, und so kann auch der Druck der Luftatmosphäre ein Hinderniß der Ausbildung einer Dampfatmosphäre um einen Körper sein.

Der Dampf ist, wie gesagt wurde, eine ausdehnsame Flüssigkeit, d. h. er hat das Streben, sich nach allen Seiten hin auszudehnen, und jede Quantität Dampf in ein leeres allseitig verschlossenes Gefäß gethan, wird sich in diesem, wie groß es auch sein mag, dergestalt ausdehnen, daß sie dasselbe endlich mit überall gleichmäßiger Dichtigkeit stetig erfüllt, und gegen alle Punkte der Umwandungen des Gefäßes einen durchaus gleichförmigen Druck ausübt. Diese Kraft, mit welcher sich der Dampf auszudehnen strebt und mit welcher er gegen die Wände eines ihn einschließenden Gefäßes drückt, hat man seine Spannkraft genannt. Entwickelt sich eine bestimmte Quantität Dampf im Innern einer Flüssigkeit, so bildet er eine Blase, d. h. der ihn allseitig umgebende Druck der Flüssigkeit hält den Dampf innerhalb eines Raumes zusammen, dessen Größe abhängen wird von der Größe der Spannkraft des Dampfes, welcher der seitliche Druck der umgebenden tropfbaren Flüssigkeit das Gleichgewicht hält. Da aber alle einzelnen Theilchen dieser Flüssigkeit dem Gesetze der Schwere gemäß, unter welchem sie stehen, nach unten drängten, so wird dadurch die Dampfblase nach oben gehoben, sie steigt in der Flüssigkeit empor. An der Oberfläche derselben ankommend tritt sie in die atmosphärische Luft, d. h. in einen Raum, in welchem sie sich gleich der atmosphärischen Luft ausdehnen kann, und die Folge ist, daß sie zerplatzt, die sie umgebende Hülle bleibt in der tropfbaren Flüssigkeit zurück, von der sie einen Theil ausmacht und der Dampf entweicht in die Atmosphäre.

Bei niederen Temperaturen kann im Innern weder eines festen Körpers noch eines tropfbar flüssigen Dampf sich entwickeln, weil die Spannkraft, welche, wie

wir später sehen werden, mit der Temperatur des Dampfes zunimmt, die dem Dampfe bei diesen Temperaturen entspricht, nicht stark genug ist, um den Druck der umgebenden Theilchen zu überwältigen, eine Blase, wie sie beschrieben wurde, also nicht zu Stande kommen, mithin auch nicht emporsteigen kann. Bei solchen Körpern erfolgt die Dampfbildung also nur an der Oberfläche. Sie erfolgt aber stets um desto stärker, je ausgebreiteter die Oberfläche ist, und je höher die Temperatur ist. Erhitzt man eine Flüssigkeit mehr und mehr, so erlangt sie endlich eine Temperatur, bei welcher die Spannkraft des sich bildenden Dampfes stärker wird, als der Druck der Flüssigkeitstheilchen gegen einander unter dem Einflusse der Schwere, und nun erfolgt auch im Innern der Flüssigkeit Dampfbildung, es entstehen Bläschen, welche an die Oberfläche emporsteigen, hier zerplatzen und in die Atmosphäre sich ausbreiten. Diesen Proceß nennt man das Sieden oder Kochen; derselbe tritt unter übrigens gleichen Verhältnissen bei den verschiedenen Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen ein. Die Temperatur des Siedens einer Flüssigkeit ist also diejenige, bei welcher der Dampf der betreffenden Flüssigkeit eine so hohe Spannkraft hat, daß diese den Druck der Flüssigkeitstheilchen gegen einander zu bewältigen vermag. Der Druck, welchen die Atmosphäre auf die Oberfläche der Flüssigkeit ausübt, ist bei diesem Vorgange von großem Einflusse, dergestalt, daß die Flüssigkeiten bei desto niederern Temperaturen sieden, je schwächer der atmosphärische Luftdruck ist. Jener erwähnte Druck der Flüssigkeitstheilchen gegen einander, welcher durch die Dampfbläschen bei ihrer Entstehung überwunden werden muß, ist nämlich desto größer, je schwerer die auf der Flüssigkeit lastende Atmosphäre ist, und da nun die Spannkraft der Dämpfe mit der Temperatur wächst, so wird die Siedetemperatur einer Flüssigkeit desto höher liegen müssen, je größer der herrschende Luftdruck ist. In einem ganz geschlossenen Gefäße, welches nur zum Theil mit Flüssigkeit gefüllt ist, ist der Einfluß des Luftdruckes ausgeschlossen. Hier aber sammelt sich über dem Niveau der Flüssigkeit stets Dampf, dessen Spannkraft gegen die Oberfläche der Flüssigkeit ebenso stark wie gegen den Deckel des Gefäßes wirkt, und erhitzt man nun die Flüssigkeit mehr und mehr, so entwickeln sich zwar immer neue Quantitäten Dampf, zugleich aber steigt dessen Spannkraft, zugleich vermehrt sich der Druck dieses Dampfes gegen die Oberfläche der Flüssigkeit und der Siedeproceß setzt sich alsbald selbst eine Grenze. Oeffnet man den schließenden Deckel eines derartigen Gefäßes, in welchem das Wasser zu einer Temperatur erhitzt worden, welche höher als die gewöhnliche Siedhitze, oder macht sich diese Oeffnung von selbst, sei es durch Aufdrückung eines Ventils durch den Dampf, sei es durch gewaltsame Zersprengung des Gefäßes, welches dem Drucke des Dampfes von Innen keinen Widerstand mehr zu leisten vermag: so erfolgt eine plötzliche Umwandlung einer so großen Quantität Wasser in Dampf, als in einem offenen Gefäß während der vorausgegangenen Erhitzung in Dampfgestalt entwichen sein würde. Die Schnelligkeit, mit welcher diese Umwandlung erfolgt, und die expansive Natur des Dampfes machen dieselbe zu einer Explosion.

Das Mitgetheilte erhält seine Bestätigung durch Erfahrungen von Watt *), Southern und Magnus **). Der letztere machte die Erfahrung, daß Wasser in dem ausgekochten Schenkel einer U förmig gebogenen Glasröhre

*) Robison, System of Mechan. Phil. T. II. p. 31 — 170.
**) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 236 — 248.

gewöhnlich nicht früher in Dampfgestalt überging, als bis es sich unter einem Drucke befand, der um mehrere Zoll Quecksilber niedriger war als der, welcher der Spannkraft der Dämpfe bei der vorhandenen Temperatur entsprach, daß aber dann die Dampfbildung plötzlich und mit großer Heftigkeit eintrat. Magnus schließt aus seinen Beobachtungen, daß die Kraft, welche zur Erzeugung des Dampfes erfordert wird, deshalb größer sein müsse als seine Spannkraft, oder die Kraft, welche er zu seinem Bestehen nöthig hat, weil die Cohäsion der Flüssigkeit, (welche auch als Druck der letzten Flüssigkeitstheilchen gegen einander vorgestellt werden kann) auf welcher ihr tropfbarer Zustand beruht, überwunden werden muß. Hiermit hängt dann weiter zusammen, daß das Theilchen der Flüssigkeit, welches sich in Dampf verwandeln soll, stets eine höhere Temperatur haben müsse, als der Spannkraft der Dämpfe bei der vorhandenen Temperatur entspricht.

Magnus äußert sich hierüber wie folgt. Bei dem Kochen, wo die Dampfbildung vom Boden ausgeht, wird die Flüssigkeit stets wärmer sein, als der sich entwickelnde Dampf. Am deutlichsten zeigt sich dies bei den kochenden Salzlösungen. Bei diesen ist die Cohäsion zwischen Wasser und Salz größer, als zwischen den Theilen des Wassers unter sich, deshalb ist auch eine höhere Temperatur erforderlich, um diese Cohäsion zu überwinden. Außerdem muß der Dampf, so lange er noch in der Salzlösung ist, eine dieser hohen Temperatur entsprechende Spannkraft behalten, sonst würde er durch die Anziehung des Salzes wieder tropfbar werden. Dies geht schon daraus hervor, daß durch Einbringen eines Salzes z. B. Soda, zu dem in dem leeren Raum eines Barometers befindlichen Wasser, die Spannkraft desselben sich sogleich vermindert. Um dies aber noch überzeugender darzuthun, hat Magnus in die U förmige Röhre, welche zur Erzeugung des Dampfes benutzt wurde, Wasser gebracht, und sie einer Temperatur von 100° C. ausgesetzt. Die hierbei entstandenen Wasserdämpfe hatten eine Spannkraft gleich dem Drucke der Atmosphäre. Ließ er nun aber eine Auflösung von Kochsalz zu dem Wasser treten, so verminderte sich sogleich die Spannkraft der Dämpfe und zwar um mehrere Zoll Quecksilber.

Ebenso leitete Magnus die Dämpfe von kochendem Wasser, die eine Temperatur von 100° C. hatten, in eine Auflösung von Kochsalz, die in einem Wasserbade auf 100° C. erhalten wurde. Der Erfolg war, daß die Salzlösung bis 107° C. erwärmt wurde, wiewohl der erwärmende Körper, die Wasserdämpfe, nicht wärmer als 100° C. waren. Diese aber wurden von der Kochsalzlösung absorbirt und gaben ihre bekannte Wärme (s. d. folg.) so lange an dieselbe ab, bis sie eine Temperatur erreicht hatte, bei welcher die Spannkraft der Wasserdämpfe hinreichte, um außer dem Drucke der Atmosphäre auch die Cohäsion zwischen Wasser und Salz zu überwinden, das ist die Temperatur, bei welcher die Salzauflösung kocht. Allmälig verdünnte sich die Lösung und damit sank auch ihre Temperatur. Fügte man dann neues Kochsalz hinzu, so stieg dieselbe wieder bis zu dem der neuen Concentration entsprechenden Kochpunkt. — Anders als mit den Salzlösungen verhält es sich mit reinem Wasser oder jeder andern reinen kochenden Flüssigkeit. Auch bei diesem muß das Theilchen, das sich in Dampf verwandeln soll, eine so hohe Temperatur haben, daß die Spannkraft seiner Dämpfe nicht nur hinreicht, den Druck, sondern auch die Cohäsion zu überwinden. Die bei dieser höhern

*) Biot, Traité de Phys. T. I. p. 285.

Temperatur gebildeten Dämpfe dehnen sich indeß, da sie von dem vorhandenen Wasser nicht mehr angezogen werden, noch innerhalb der Flüssigkeit aus, entsprechend dem Drucke, unter dem sie sich befinden. Daher kann die Temperatur von kochendem Wasser nie so hoch sein, als von einer Salzlösung. Aber dennoch hat in der That das kochende Wasser stets eine höhere Temperatur, als der entweichende Dampf, wie auch Marcet *) durch Versuche gezeigt hat. Daß dieselbe aber gewöhnlich nur sehr wenig höher ist, beruht auf Folgendem: Wenn eine Flüssigkeit in einem Gefäße kocht, von dessen Wänden sie stärker angezogen wird, als ihre Theile sich unter einander anziehen, so werden sich diese Theile von einander leichter, als von den Wänden des Gefäßes trennen. Deshalb kann die Flüssigkeit in solchen Gefäßen keine höhere Temperatur annehmen, als die, bei welcher die Spannkraft der Dämpfe hinreicht, um den Druck und die Cohäsion der Flüssigkeit zu überwinden. Diese Temperatur ist die höchste, welche die Flüssigkeit unter dem vorhandenen Drucke annehmen kann, und sie würde diese zeigen, wenn man sie könnte in Gefäßen kochen lassen, die gleichsam aus derselben Flüssigkeit gebildet wären oder, wie schon gesagt, in Gefäßen, deren Wände sie überall stärker zurückhalten, als ihre Theile sich unter einander anziehen. Kocht dieselbe hingegen in einem Gefäße, von dessen Wänden sie mit geringerer Kraft zurückgehalten wird, als von ihren gleichartigen Theilen, so wird auch nur eine geringere Kraft nöthig sein, um sie von diesen Wänden, als um sie von ihren gleichartigen Theilen zu trennen, und es wird daher die Dampfbildung leichter erfolgen. Daher ist der Kochpunkt um so niedriger, je geringer die Anziehung der Wände oder irgend eines anwesenden Körpers zur Flüssigkeit ist. Derselbe kann also durch die Wände des Gefäßes wohl erniedrigt, niemals aber erhöht werden, wenigstens nicht über die Temperatur, bei welcher die Flüssigkeit ohne Anwesenheit eines fremden Körpers kochen würde. Man sollte aber glauben, daß eine glatte metallische Oberfläche, da sie das Wasser stärker anzieht, als die Theile des Wassers einander, keine Erniedrigung, sondern eine Erhöhung des Kochpunktes herbeiführen muß, während die Erfahrung das Gegentheil lehrt. Allein wenn man eine metallische Oberfläche, selbst wenn sie ganz vollständig gereinigt ist, in Wasser taucht, so haftet dasselbe zwar im Allgemeinen, aber es finden sich stets einzelne Stellen, an denen es nicht haftet und von denen es sich zurückzieht, wo also die Anziehung zum Wasser geringer ist, als die der Wassertheile zu einander. Ganz ebenso verhält es sich mit Glas, nur wenn dieses durch kochende Schwefel- oder Salpetersäure gereinigt ist, bildet das Wasser einen continuirlichen Ueberzug, sonst finden sich immer einzelne Stellen, an denen es nicht haftet. Daher ist auch in so gereinigten Gefäßen der Kochpunkt, wie Marcet gezeigt hat, oft um 5° C. höher, als die Temperatur der entweichenden Dämpfe, und wahrscheinlich ist dies auch die Temperatur, bei welcher das Wasser ohne Anwesenheit eines fremden Körpers kochen würde. Bei Wiederholung dieser Versuche hat Magnus zwar den Kochpunkt nicht um 5° C., was man, wie Marcet anführt, nicht immer leicht erreicht, aber doch um mehrere Grade höher gefunden, als die Temperatur der entweichenden Dämpfe. Außerdem hat Magnus eine Platinschale durch schmelzendes kaustisches Kali und nachher durch Schwefelsäure zu reinigen versucht, und dadurch ist es ihm gleichfalls gelungen, den Kochpunkt des Wassers in derselben zu erhöhen, aber doch nicht so bedeutend, als bei dem Glase.

---

*) Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 218.

Wahrscheinlich liegt dies, wie Magnus bemerkt, daran, daß seine Platinschale schon mehrfach gebraucht und nicht frei von Rissen und Schrammen war, die hier ähnlich wirkten, wie pulverförmige Substanzen. Denn durch diese wird der Kochpunkt am meisten erniedrigt, so daß durch Einbringen von pulverförmigem Glas oder Metall in kochendes Wasser die Temperatur desselben kaum von der der entweichenden Dämpfe zu unterscheiden ist. Bedenkt man noch, daß an jedem hineinfallenden Stäubchen die Adhäsion des Wassers geringer als die Cohäsion seiner Theile ist, und daß durch die mannigfaltigsten Umstände die Adhäsion der festen Körper verändert wird, so daß, wie die neuesten Entdeckungen zeigen, das Licht, die Wärme, die Elektricität, ja selbst die bloße Nähe einer andern Substanz, die Oberfläche eines Körpers so modificiren, daß die Dämpfe von Wasser und Quecksilber sich an den verschiedenen Stellen verschieden anlegen: so kann es nicht auffallend sein, wenn die Gegenwart von Metall oder Glas nur in seltenen Fällen den Kochpunkt der Flüssigkeit nicht erniedrigt. Nicht nur nach der verschiedenen Natur der Gefäße und ihrer Reinheit ist diese Erniedrigung und folglich die Temperatur der Kochpunkte verschieden, sondern auch jedes Stäubchen, das in die Flüssigkeit fällt, ändert die Verhältnisse der Adhäsion und folglich den Kochpunkt. Aber wenn man die Flüssigkeit auch gegen allen Staub und die anwesenden Körper gegen jede Veränderung schützt, so schwankt der Kochpunkt doch beständig. Sobald nämlich die Temperatur hoch genug ist, um an irgend einer Stelle die Cohäsion zu überwinden und Dämpfe zu bilden, so dehnen sich diese noch in der Flüssigkeit aus, und indem sie hierbei die dem Drucke entsprechende Spannung und Temperatur annehmen, kühlen sie die Flüssigkeit ab. Kocht diese bei einer Temperatur, die um mehrere Grade höher ist, als die der entweichenden Dämpfe, so ist die Ausdehnung dieser letztern bedeutend und die jedesmalige Abkühlung der Flüssigkeit ist dieser Ausdehnung entsprechend, worauf dann wieder eine ziemliche Zeit vergeht, bis ihre Temperatur hoch genug ist, um die Cohäsion zu überwinden. Daher schwankt ein empfindliches Thermometer in einer solchen kochenden Flüssigkeit beständig und das Entweichen von Dämpfen ist stets mit einer Art von Stößen verbunden. Ist hingegen der Kochpunkt durch die Gegenwart von pulverförmigen Substanzen oder Drähten nur unbedeutend höher, als die Temperatur der entweichenden Dämpfe, so findet auch nur eine unbedeutende Ausdehnung der Dämpfe statt, und während der Kochpunkt fast ganz constant bleibt, ist jedes plötzliche Aufkochen und das Stoßen vermieden.

Die in dem Vorhergehenden erwähnten Untersuchungen von Marcet *) bezogen sich auf den Einfluß, welchen die Natur des Gefäßes, in welchem das Sieden geschieht, auf die Bestimmung der Temperatur hat, bei welcher eine Flüssigkeit siedet. Schon Gay-Lussac hatte die Bemerkung gemacht, daß in dem Siedepunkte des Wassers beträchtliche Unterschiede vorkommen, je nach der Natur des angewandten Gefäßes und der in die Flüssigkeit eingebrachten Substanzen, selbst wenn diese sich nicht darin auflösen. Nach Gay-Lussac siedet das Wasser, welches in einem Metallgefäße bei der Temperatur 100° C. ins Sieden gerieth, in Glasgefäßen erst bei 101°,232. Die Einschüttung von etwas zerstoßenem Glase senkt diese Temperatur auf 100°,329, und die von Eisenfeilicht führt sie auf 100° zu-

*) Mém. de la soc. de phys. et d'hist. de Genève. T. IV. Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 218.

rück, wie wenn das Sieden in einem Metallgefäße geschähe *). Die Erklärung dieser Thatsache ist in dem eben angeführten Aufsatze von Magnus gegeben. Marcet fand zunächst bei seinen Versuchen, daß durch Einschüttung von Metallfeilicht in ein Glasgefäß in diesem die Siedetemperatur niemals bis ganz auf 100° herabgedrückt wurde, also das Verhalten des Glasgefäßes in Bezug auf das Sieden niemals durch eine theilweise Bedeckung mit Metall ganz dem Verhalten eines Metallgefäßes gleich würde. Hierbei wurde Marcet jedoch auf einen sehr zu beachtenden Umstand aufmerksam, welcher die Richtigkeit des eben Ausgesprochenen in seiner Allgemeinheit wohl modificiren dürfte: die in das Glasgefäß gebrachten Metalltheilchen wirkten begünstigend auf den Siedeproceß nicht bloß durch Molecular-Adhäsion, sondern es fand eine Spitzenwirkung statt: jede Metallspitze wird eine Art Mittel- oder Brennpunkt, von dem aus unzählige Dampfblasen aufsteigen **).

Marcet fand ferner, daß, wenn man in ein Gefäß eine Substanz brachte, welche eine noch weit geringere Adhäsion als das Eisen zum Wasser hat, der Siedepunkt für dieses Gefäß bedeutend herabgedrückt wurde. So schüttete er in einen Glaskolben, in welchem das Sieden des Wassers bei 101°,2 stattfand, eine kleine Menge von Schwefelblumen und schmolz dieselben, so daß sie den Boden und einen Theil der Wände des Gefäßes in Tröpfchen überzog. Hierauf siedete das Wasser in diesem Gefäße schon bei 99°,85. Ueberzog er das Innere des Ballons mit einer gleichförmigen Schicht von Gummilack, so erfolgte das Sieden sogar schon bei 99°,7. Ebenso gerieth Wasser in einem inwendig mit Gummilack überzogenen Metallgefäße schon bei etwa 99°,8 ins Sieden. Man sieht hieraus, daß der Siedepunkt des Wassers in einem Metallgefäße nicht der möglichst niedrige sei, sondern daß es Substanzen giebt, welche das Sieden noch mehr begünstigen als die Metalle.

Damit der Dampf in die Atmosphäre sich erheben könne, muß er eine Spannkraft haben, welche von derjenigen der Atmosphäre bedingt ist; so lange also der Druck der atmosphärischen Luft sich gleich bleibt, wird auch die Spannkraft des sich aus einem offenen Gefäße beim Sieden entwickelnden Wasserdampfes dieselbe bleiben, d. h. aber auch die jene bedingende Temperatur des Dampfes. Daher kommt es, daß die Temperatur des entwickelten Wasserdampfes dieselbe ist, welche Temperatur immer das diesen Dampf erzeugende Wasser in Folge seiner Beimischungen oder der Natur des Gefäßes hatte erlangen müssen, um den Dampf aus sich zu erzeugen. Rudberg ***) hat in dieser Beziehung Versuche angestellt, deren Resultat er dahin ausspricht: daß die Temperatur des Wasserdampfes gar nicht von der Beschaffenheit des Gefäßes abhängt, daß sie sich vielmehr für jeden Baro-

*) Peclet traité de phys. 2me ed. T. I. p. 599. — Ann. de chim. T. LXXXII. p. 174. Ann. de chim. et de phys. T. VII. p. 307. Schweigg. Journ. Bd. XXIV. S. 327. Spätere hieher gehörige Versuche stellten Muncke und L. Gmelin an (Gilb. Ann. Bd. LVII. S. 211. Gehler, N. A. Bd. X. S. 1012.), sowie Rudberg (Pogg. Ann. Bd. XL. S. 49.). Der letztere erklärte die Erscheinung zuerst aus der ungleichen Adhäsion des Wassers an den Wandungen der verschiedenen Gefäße.

**) Da es sich bei jedem Uebergange aus einer Aggregationsform in die andere um Binden und Freiwerden von Wärme handelt, so wird es nicht überflüssig sein, hier daran zu erinnern, daß durch Spitzenwirkung auch der Gefrierungsproceß des unter 0° erkälteten Wassers eingeleitet wird. Auch Marcet macht hierauf aufmerksam (Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 235.).

***) Pogg. Ann. Bd. XL. S. 55.

meterdruck gleich bleibt, daß sie immer einer, dem Barometerstande gleichen Spannkraft entspricht. Derselbe fand auch *), daß ein Salz, in welcher Menge man es auch im Wasser auflöst, die Siedehitze nur bei der Lösung steigert, und zwar im Verhältniß zu seiner Menge (vergl. oben S. 23), ohne dem Dampfe auch nur im allergeringsten eine andere Temperatur zu geben, als er besitzt, wenn er bei gleichem Barometerstande aus reinem destillirten Wasser entwickelt wird. Die gewöhnliche Annahme, daß die Temperatur des entweichenden Dampfes dieselbe sein muß, wie die der Flüssigkeit, aus welcher er sich entwickelt, an ihrer Oberfläche, ist hiernach falsch. Allerdings sollte man meinen, der in der Flüssigkeit sich entwickelnde Dampf müsse nothwendig dieselbe Temperatur haben, wie die ihn umgebende Flüssigkeit, vermöge der Gesetze von der Mittheilung der Wärme. Berücksichtigt man jedoch, daß der Dampf zu seiner Constituirung große Quantitäten Wärme verschluckt (s. d. Folg.), welche er seiner Umgebung entziehen muß, so wird klar, daß eine Flüssigkeit einen desto größeren Ueberschuß an Wärme im Vergleiche mit dem in ihr entwickelten Dampfe haben muß, um den Dampfbildungsproceß unterhalten zu können, je mächtiger die mehrfach erwähnten Schwierigkeiten aus der Natur der Flüssigkeit und des dieselbe enthaltenden Gefäßes sind, welche sich der Dampfbildung entgegenstellen. Aus einer Reihe mit größter Vorsicht angestellter Versuche fand Marcet, daß bei in einem Blechcylinder siedenden Wasser, wenn dieses eine Temperatur von 100° hatte, der Dampf eine Temperatur von im Mittel 99°,84 besaß, d. h. daß die Temperatur des siedenden Wassers im Mittel 0°,16 höher war, als die des erzeugten Dampfes. In einem Gefäße, dessen Inneres mit einer dünnen Schicht Gummilack überzogen war, und in welchem also so gut wie keine Adhäsion des Wassers an die Gefäßwandungen stattfand, fand dagegen gar kein Unterschied zwischen der Temperatur des Wassers und des aus ihm erzeugten Dampfes statt. Im Gegentheil war der erwähnte Unterschied der Temperaturen des Wassers und des Dampfes bei einem Glasgefäße größer als bei einem Metallgefäße; während nämlich im Mittel das Wasser eine Temperatur von 100°,95 hatte, besaß der Dampf im Mittel eine Temperatur von 99°,89; die Differenz also betrug 0°,06, während der Unterschied zwischen den Temperaturen des in einem Metallgefäß und in einem Glasgefäße siedenden Wassers 0°,95 beträgt. Wie man sieht, hatte aber auch der Dampf in beiden Fällen, der oben erwähnten Annahme zuwider, eine wenn auch nur sehr unbedeutend verschiedene Temperatur. Hiernach scheint (da aus einem Glasgefäße der Dampf im Mittel um 0°,05 wärmer ist) also doch durch Mittheilung von der stärker erwärmten Flüssigkeit eine Erhöhung der Temperatur des erzeugten Dampfes bewirkt zu werden.

Marcet machte bei seinen Versuchen noch die Bemerkung, daß sich verschiedene Glassorten, scheinbar von derselben physikalischen Beschaffenheit, verschieden in Bezug auf die Siedetemperatur des Wassers verhielten. Noch größer waren diese Verschiedenheiten bei Gläsern, welche gewisse Flüssigkeiten enthalten hatten, durch die ihre innere Oberfläche ein anderes Adhäsionsverhältniß gegen das Wasser bekommen haben mochten, oder welche anderen Processen unterworfen worden waren, welche ihre physikalischen Eigenschaften verändert hatten, z. B. welche einer Erhitzung von 300°—400° ausgesetzt worden waren. So hatte ein Glaskolben eine Siedetemperatur von 101° gegeben. Nachdem derselbe aber mit Schwefelsäure gefüllt und diese bis zu 150° in ihm erhitzt worden war, siedete in ihm das Wasser erst

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 257.

bei mehr als 104°. Der Dampf aus dem Wasser von 103° überstieg nicht merklich die gewöhnliche Temperatur von 100°. Es gelang Marcet, nachher Glaskolben, in welchem sich Schwefelsäure befunden hatte, bis zu 106° zu erhitzen, bevor das Sieden des eingeschlossenen Wassers begann. Die schon oben (S. 26) erwähnte Begünstigung des Siedeprocesses durch Spitzenwirkung trat bei diesen Versuchen sehr entschieden hervor. Marcet gelangte zu der Ansicht, daß Verunreinigung des Glases durch anhaftende Staubtheilchen, welche bei neuem, noch ungebrauchten Glase stets stattfindet, die Adhäsion des Wassers an das Glas vermindert, die Siedetemperatur also herabdrückt, und daß diese durch Reinigung des Glases durch Auswischen mit nassem Papier, durch Behandlung mit Schwefelsäure oder ätzendem Kali, durch Glühen daher erhöht wird. Als Resultate seiner sorgfältigen Versuche giebt Marcet*) folgende Sätze an:

1) „Die Siedetemperatur des Wassers in Glaskolben schwankt zwischen 100°,3 und 102°, je nach Umständen, und besonders nach der Beschaffenheit des angewandten Glases. In allen Fällen bleibt die Temperatur des aus diesem Wasser aufsteigenden Dampfes beinahe gleich und beständig einige Hundertelgrade unter der Temperatur des in einem Metallgefäß siedenden Wassers."

2) „Von welcher Natur auch das angewandte Gefäß sei, so ist die Temperatur des Dampfes beständig niedriger, als die der siedenden Flüssigkeit, welche ihn hergiebt. Wendet man Glasgefäße an, so beträgt dieser Unterschied durchschnittlich 1°,06; bedient man sich Metallgefäße, so schwankt er von 0°,15 bis 0°,20. Es giebt hiervon nur eine Ausnahme, die, wo das Gefäß, sei es von Glas oder Metall, mit einer dünnen Schicht von Schwefel, Schellack oder irgend einer andern, keine merkliche Adhäsion zum Wasser habende Substanz überzogen ist. Nur in diesem Falle ist die Temperatur des Dampfes identisch dieselbe, wie die seiner Flüssigkeit."

3) „Gegen die allgemein angenommene Meinung glaube ich bewiesen zu haben, daß, unter einem gegebenen atmosphärischen Drucke, die Temperatur des siedenden Wassers in einem Metallgefäß nicht die niedrigste ist. Wir haben nämlich gesehen, daß in einem Glaskolben, überzogen mit einer dünnen Schicht von Schwefel, Schellack oder irgend einer ähnlichen Substanz, diese Temperatur um einige Zehntelgrade niedriger ist, als in einem Metallgefäß."

4) „In Gefäßen aus vollkommen reinem oder von jeder fremdartigen Substanz gesäuberten Glase können Wasser und Alkohol auf eine merklich höhere Temperatur gebracht werden, als man bisher geglaubt, ohne daß das Thermometer jenen stationären Punkt erreicht, der das Sieden charakterisirt. Insbesondere kann man in diesem Fall nicht siedendes Wasser über 105° erhalten. Wenn dem in den meisten Fällen nicht so ist, so rührt dies davon her, daß ein neues und scheinbar vollkommen glänzendes Glas fast beständig fremdartige Theile stark anhaftend enthält, die sich durch verschiedene, theils mechanische, theils chemische Processe, namentlich durch Wirkung concentrirter Schwefelsäure fortschaffen lassen."

Es ist im Vorhergehenden schon wiederholt von dem Einfluß der eigenthümlichen Natur der Flüssigkeiten auf die Bestimmung ihres Siedepunktes gesprochen worden. Die näheren Angaben über die Siedepunkte der verschiedenen Flüssigkeiten werden wir im Art. Schmelz- und Siedepunkt geben, und bei dieser Gelegenheit

*) Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 240.

dann auch der Untersuchungen über den Zusammenhang der chemischen Beschaffenheiten der verschiedenen Flüssigkeiten mit ihren Siedetemperaturen gedenken. Hier jedoch dürfte der Ort sein, noch einiges über die bereits mehrmals erwähnte Siedetemperatur von Salzlösungen (in Wasser) zu sagen, welche das eigenthümliche haben, daß der von ihnen erzeugte Dampf chemisch reiner Wasserdampf ist. Die von Magnus (s. oben S. 23) erklärte Erscheinung, daß Salzlösungen im Allgemeinen eine höhere Siedetemperatur haben, als reines Wasser, und die Beobachtung von Rudberg, daß der Dampf aus den Salzlösungen unter übrigens gleichen Bedingungen dieselbe Temperatur wie Dampf aus reinem Wasser habe, hängen mit jener Eigenthümlichkeit zusammen.

Der erste, welcher über die längst bekannte Thatsache, daß Salzlösungen eine höhere Siedetemperatur haben, als reines Wasser, nähere Untersuchungen anstellte, war Griffith*). Er suchte die Siedetemperaturen verschiedener nach dem Procentgehalte an dem betreffenden Salze bestimmter Flüssigkeiten zu bestimmen. Die Resultate seiner etwas oberflächlichen Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Solutionen	Procent des Salzes	Siedepunkt in Graden C.	Solutionen	Procent des Salzes	Siedepunkt in Graden C.
Essigsaures Natron .	60	124°,5	Oxalsaures Kali . .	40	104°,5
Salpetersaures Natron	60	118	Oxalsaures Ammoniak	29	103,3
Weinsaur. Kali-Natron	90	115,6	Blutlaugensalz . . .	55	103,3
Salpeter	74	114,5	Chlorsaures Kali . .	40	103,3
Sal miak	50	113,3	Boraxsäure	....	103,3
Schwefelsaures Nickel .	65	112,8	Schwefels. Kalikupfer .	40	102,8
Weinsaures Kali . .	68	112,3	Schwefels. Kupferoxyd	45	102,2
Kochsalz	30	106,8	Schwefels. Eisenoxydul	64	102,2
Salpeters. Strontianerde	53	106,8	Salpetersaur. Bleioxyd	52,5	102,2
Schwefelsaure Talkerde	57,5	105	Essigsaures Bleioxyd .	41,5	101,7
Saures schwefelsaur. Kali	....	105	Schwefelsaures Kali .	17,5	101,7
Borax	52,5	105	Salpetersaurer Baryt .	26,5	101,1
Phosphorsaures Natron	....	105	Weinstein	9,5	101,1
Kohlensaures Natron .	....	104,5	Essigsaur. Kupferoxydul	16,5	101,1
Salzsaurer Baryt . .	45	104,5	Cyanquecksilber . .	35	101,1
Schwefelsaur. Zinkoxyd	45	104,5	Quecksilbersublimat .	....	101,1
Alaun	52	104,5	Schwefelsaures Natron	31,5	100,5

Mit ungleich größerer Sorgfalt sind die Versuche von Legrand**) angestellt. Die zu dieser Untersuchung angewandten Thermometer waren von sorgfältiger Construction, auch berücksichtigte Legrand den Umstand, daß der größte Theil der Röhren bei den Versuchen nicht die Temperatur der Kugel hatte. Der übrige Apparat bestand meistens aus einer bloßen Glasröhre von 6 Zoll Länge und 11 Linien Weite, in dessen Axe, 6 Linien vom Boden, eins der Thermometer

*) Journ. of Science. No. XXXV. p. 90. Berzelius, Jahresbericht 1826. S. 50. Pogg. Ann. Bd. III. S. 227. Wiener Zeitschr. Th. 1. S. 291.

**) Recherches sur les variations que le sels dissous en diverses proportions produisent dans le point d'ébullition de l'eau. Par. 1835. 8. Ann. de chim. et de phys. T. LIII. p. 423. Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 379.

mittelst eines Korkstöpsels befestigt wurde; letzterer war mehrfach durchbohrt, um den Dämpfen Ausgang zu gestatten. Zuweilen wurde statt des Glasrohres ein [illegible] weiter Glaskolben mit [illegible] Hals angewendet. Das Salz wurde [illegible] durch Trocknen von allem Wasser befreit. Wenn es nicht zerfließlich, so wurden die [illegible] in das Wasser zu bestimmten Quantitäten (1, 2 oder 3 Grm.) [illegible] abgewogen. War es dagegen zerfließlich, so wurde die Quantität desselben durch den Gewichtsverlust der Flasche bestimmt, aus welcher sie genommen worden. Bei stark zerfließlichen Salzen wurde die Flasche [illegible] warm gehalten. Um für jeden Augenblick die Menge des Salzes [illegible] dem Wasser zu kennen, wurde das Ganze gewogen und dann das Gewicht des Salzes und der Röhre abgezogen. In einem Glasgefäße geschieht das Sieden meistens stoßweise mit großen Blasen und ohne Geräusch; wenn schon das Wasser den größern Theil der Luft verloren hat, stellen sich unaufhörlich diese Stöße ein und das Thermometer erleidet oft beträchtliche Schwankungen. Mehrere Salze löst in kleiner Menge dem Wasser hinzugefügt, verhindern dieses Aufstoßen in einem merkwürdigen Grade; andere dagegen, besonders das neutrale weinsaure Kali, begünstigen es im hohen Maße. Um es zu vermeiden, gab Legrand immer einige Schnitzel Zink in die Salzlösungen und bewirkte dadurch ein ruhiges, stilles und gleichmäßiges Sieden. Indeß erfolgt dieses bei Anwendung dieses Metalls nie bei derselben Temperatur, wie in einem Metallgefäße. Der Sättigungspunkt der Salzlösungen, d. h. die Löslichkeit der Salze beim Siedepunkte ihrer Lösungen wurde mit besonderer Sorgfalt bestimmt, sowohl was die Temperatur, als was die Salzmenge betrifft. Bestimmt man diese Temperatur, wenn das Salz anfängt, sich auszuscheiden, so würde man kein sicheres Resultat erhalten; man muß sie bestimmen, während das Salz sich ablagert. Ungeachtet der Bewegung beim Sieden vermögen nämlich die Salzlösungen sich zu übersättigen und einen höhern Siedepunkt zu erlangen, als ihnen eigentlich zukommt; sobald aber das Salz sich ausscheidet, fällt das Thermometer auf einen Punkt, auf welchem es sich unverändert erhält. Diese Erscheinung ist der bekannten Verzögerung des Gefrierens vom Wasser analog, und man hat es auch an der Krystallisation von Salzen bei gewöhnlicher Temperatur beobachtet; merkwürdig ist es aber, daß sie durch das Sieden nicht verhindert wird. Am auffallendsten zeigt sie sich beim kohlensauren Kali. Einmal sah Legrand dessen Lösung die Temperatur von 140° erreichen, ohne Salz auszuscheiden; allein plötzlich fand unter starkem Aufbrausen eine bedeutende Salzablagerung statt und sogleich sank das Thermometer auf 135°, wo es sich nun fortwährend erhielt. Um nach Bestimmung der Sättigungstemperatur auch das Verhältniß von Wasser und Salz zu erhalten, wurde in die Röhre etwas Wasser gebracht, um das Salz wieder aufzulösen, die Lösung zum Sieden gebracht, genau darauf geachtet, wann das Thermometer die Sättigungstemperatur zeigte und nun schnell gewogen. Da man indeß fürchten konnte, daß so die Salzmenge etwas zu groß bestimmt worden, so wurde zu einem Gegenversuch auf einmal so viel Wasser und Salz in die Röhre gebracht, als dem Sättigungspunkt entsprach, das Salz durch Erwärmen gelöst, die Lösung zum Sieden erhitzt und so, wie der Sättigungspunkt erreicht war, gewogen. — Die Temperatur des Sättigungspunktes lehrt, wie Legrand bemerkt, die Erhitzung kennen, welche man nicht zu überschreiten braucht, um einem Salze sein Krystallwasser zu nehmen. Stellt man die Resultate nachstehender Tafeln graphisch dar, auf die Weise, daß man die Verzögerungen des Siedepunktes zu Or-

dinaten und die enſprechenden Salzmengen, auf 100 Th. Waſſer bezogen, zu Abſciſſen nimmt, ſo findet man, daß die Curven der Verzögerungen des Siedepunktes drei Gattungen bilden. Die erſte hat nur eine einfache Krümmung, die beiden anderen haben einen Beugungspunkt, und zwar iſt vor demſelben bei der einen die Krümmung gegen die Abſciſſenaxe, und bei der andern gegen die Ordinatenaxe gewandt. Die in den folgenden Tafeln angeführten Salzmengen bedeuten immer trockene Salze, wo es nicht ausdrücklich anders geſagt iſt.

Chlorſtrontium.

Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Waſſer	Unterſchiede	Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Waſſer	Unterſchiede	Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Waſſer	Unterſchiede
0°	0,0							
1	16,7	16,7	7°	54,0	5,2	13°	85,3	5,7
2	25,2	8,5	8	59,0	5,0	14	91,2	5 9
3	32,1	6,9	9	63,9	4,9	15	97,5	4,3
4	37,9	5,8	10	68,9	5,0	16	104,0	4,5
5	43,4	5,5	11	74,1	5,2	17	110,9	4,9
6	48,8	5,4	12	79,6	5,5	17,85	117,5	4,6

Siedepunkt des reinen Waſſers = 100°,4.

Chlorcalcium.

0°	0,0	10,0	18°	67,6	3,0	46°	156,2	7,0
1	10,0	6,5	19	70,6	3,0	48	163,2	7,3
2	16,5	5,1	20	73,6	3,1	50	170,5	7,6
3	21,6	4,2	21	76,7	3,1	52	178,1	7,9
4	25,8	3,6	22	79,8	3,1	54	186,0	8,3
5	29,4	3,2	23	82,9	3,1	56	194,3	8,7
6	32,6	3,0	24	86,0	3,1	58	203,0	9,1
7	35,6	2,9	25	89,1	3,1	60	212,1	9,5
8	38,5	2,8	26	92,2	6,2	62	221,6	9,9
9	41,3	2,7	28	98,4	6,2	64	231,5	10,4
10	44,0	2,8	30	104,6	6,3	66	241,9	10,9
11	46,8	2,9	32	110,9	6,3	68	252,8	11,4
12	49,7	2,9	34	117,2	6,3	70	264,2	11,9
13	52,6	3,0	36	123,5	6,4	72	276,1	12,4
14	55,6	3,0	38	129,9	6,4	74	288,5	12,9
15	58,6	3,0	40	136,3	6,5	76	301,4	13,4
16	61,6	3,0	42	142,8	6,6	78	314,8	10,2
17	64,6	3,0	44	149,4	6,8	79,5	325,0	

Siedepunkt des reinen Waſſers = 100°,1

Neutrales weinſaures Kali.

0°	0,0	26,9	6°	118,5	18,8	12°	237,9	21,6
1	26,9	30,3	7	137,3	19,2	13	259,5	22,1
2	47,2	17,8	8	156,5	19,6	14	281,6	14,6
3	65,0	17,3	9	176,1	20,1	14,67	296,2	
4	82,3	17,8	10	196,2	20,6			
5	100,1	18,4	11	216,8	21,1			

Siedepunkt des reinen Waſſers = 100°,3.

Kohlensaures Kali.

Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede	Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede	Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede
0°	0,0	13,0	12°	88,2	5,0	24°	147,1	5,1
1	13,0	9,5	13	93,2	4,8	25	152,2	5,1
2	22,5	8,5	14	98,0	4,7	26	157,3	5,2
3	31,0	7,8	15	102,8	4,8	27	162,5	5,2
4	38,8	7,3	16	107,5	4,8	28	167,7	5,2
5	46,1	7,0	17	112,3	4,9	29	172,9	5,2
6	53,1	6,5	18	117,1	5,0	30	178,1	5,2
7	59,6	6,3	19	122,0	5,0	31	183,4	5,3
8	65,9	6,0	20	127,0	5,0	32	188,8	5,4
9	71,9	5,7	21	132,0	5,0	33	194,2	5,4
10	77,6	5,4	22	137,0	5,0	34	199,6	5,4
11	83,0	5,2	23	142,0	5,1	35	205,0	5,4

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°,3.

Salpetersaurer Kalk.

0°	0,0	15,0	13°	104,8	6,4	32°	222,2	12,9
1	15,0	10,3	14	111,2	6,3	34	235,1	13,0
2	25,3	9,1	15	117,5	6,3	36	248,1	13,2
3	34,4	8,2	16	123,8	6,2	38	261,3	13,7
4	42,6	7,8	17	130,0	6,1	40	274,7	13,4
5	50,4	7,4	18	136,1	6,0	42	288,4	14,2
6	57,8	7,1	19	142,1	6,0	44	302,6	14,8
7	64,9	6,9	20	148,1	12,0	46	317,4	15,8
8	71,8	6,8	22	160,1	12,1	48	333,2	18,0
9	78,6	6,7	24	172,2	12,3	50	351,2	11,0
10	85,3	6,6	26	184,5	12,5	51	362,2	
11	91,9	6,5	28	197,0	12,5			
12	98,4	6,4	30	209,5	12,7			

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°,1.

Essigsaures Natron.

0°	0,0	9,9	9°	62,4	6,8	18°	134,9	10,3
1	9,9	7,7	10	69,2	7,0	19	145,2	10,9
2	17,6	6,5	11	76,2	7,2	20	156,1	11,3
3	24,1	6,4	12	83,4	7,5	21	167,4	11,9
4	30,5	6,2	13	90,9	7,9	22	179,3	12,3
5	36,7	6,2	14	98,8	8,3	23	191,6	12,9
6	42,9	6,4	15	107,1	8,7	24	204,5	4,5
7	49,3	6,5	16	115,8	9,3	24,37	209,0	
8	55,8	6,6	17	125,1	9,8			

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°,1.

Essigsaures Kali.

0°	0,0	10,5	7°	55,8	5,8	14°	97,6	6,3
1	10,5	9,5	8	61,6	5,8	15	103,9	6,4
2	20,0	8,6	9	67,4	5,9	16	110,3	6,5
3	28,6	7,8	10	73,3	6,0	17	116,8	6,6
4	36,4	7,0	11	79,3	6,0	18	123,4	6,7
5	43,4	6,4	12	85,3	6,1	19	130,1	6,8
6	49,8	6,0	13	91,4	6,2	20	136,9	6,9

Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede	Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede	Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede
21°	143,8	7,0	32°	230,6	18,1	52°	467,6	32,4
22	150,8	7,1	34	248,7	18,8	54	500,0	34,1
23	157,9	7,2	36	267,5	19,8	56	534,1	35,8
24	165,1	7,4	38	287,3	21,0	58	569,9	37,5
25	172,5	7,6	40	308,8	22,5	60	607,4	39,2
26	180,1	7,9	42	330,8	24,1	62	646,6	41,0
27	188,0	8,1	44	354,9	25,7	64	687,6	42,8
28	196,1	8,3	46	380,6	27,3	66	730,4	44,6
29	204,4	8,6	48	407,9	29,0	68	775,0	23,2
30	213,0	17,6	50	436,9	30,7	69	798,2	

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°.2.

Chlornatrium.

0°,0	0,0		3°,0	18,3	2,4	6°,0	31,8	2,1
0,5	4,4	4,4	3,5	20,7	2,4	6,5	33,9	2,0
1,0	7,7	3,3	4,0	23,1	2,4	7,0	35,8	2,1
1,5	10,8	3,1	4,5	25,5		7,5	37,7	1,9
2,0	13,1	2,6	5,0	27,7	2,4	8,0	39,7	1,9
2,5	15,9	2,5	5,5	29,8	2,2	8,4	41,2	2,0

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°,2.

Chlorkalium.

0°,0	0,0		3°,0	24,5	3,6	6°,0	44,2	3,2
0,5	4,7	4,7	3,5	28,0	3,5	6,5	47,4	3,2
1,0	9,0	4,3	4,0	31,4	3,4	7,0	50,5	3,1
1,5	13,2	4,2	4,5	34,6	3,2	7,5	53,7	3,2
2,0	17,1	3,9	5,0	37,8	3,2	8,0	56,9	3,2
2,5	20,9	3,8	5,5	41,0	3,2	8,3	59,4	

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°,2.

Chlorbarium.

0°,0	0,0		2°,0	32,5	6,3	4°,0	56,0	5,7
0,5	11,0	11,0	2,5	38,6	6,1	4,4	60,1	
1,0	19,6	8,6	3,0	44,5	5,9			
1,5	26,2	6,6	3,5	50,3	5,8			

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°,2.

Kohlensaures Natron.

0°,0	0,0		2°,0	26,7	5,9	4°,0	44,7	3,7
0,5	7,5	7,5	2,5	32,0	5,3	4,5	47,9	3,2
1,0	14,4	6,9	3,0	36,8	4,8	4,63	48,5	
1,5	20,8	6,4	3,5	41,0	4,2			

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°.

Phosphorsaures Natron *).

Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede	Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede	Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede
0°,0	0,0		2°,5	50,3	9,5	5°,0	91,5	7,3
0,5	11,0	11,0	3,0	59,4	9,1	5,5	98,4	6,9
1,0	21,0	10,0	3,5	68,1	8,7	6,0	105,0	6,6
1,5	31,0	10,0	4,0	76,4	8,3	6,5	111,4	6,4
2,0	40,8	9,8	4,5	84,2	7,8	6,6	112,6	

Siedepunkt des reinen Wassers = 99°,9.

Chorsaures Kali.

0°,0	0,0		2°,0	29,28	14,64	4°,0	58,56	14,64
1,0	14,64	14,64	3,0	43,92	14,64	4,2	61,50	14,64

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°,2.

Salpetersaures Kali.

0°	0,0		6°	93,2	19,9	12°	233,0	23,8
1	12,2	12,2	7	119,0	20,8	13	257,6	24,6
2	26,4	14,2	8	140,6	21,6	14	283,3	25,7
3	42,2	15,8	9	163,0	22,4	15	310,2	26,9
4	59,6	17,4	10	185,9	22,9	15,9	335,1	
5	78,3	18,7	11	209,2	23,3			

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°,2.

Salpetersaures Natron.

0°	0,0		8°	77,9	10,2	16°	165,2	11,5
1	9,3	9,3	9	88,3	10,4	17	176,8	11,6
2	18,7	9,4	10	98,8	10,5	18	188,6	11,8
3	28,2	9,5	11	109,5	10,7	19	200,5	11,9
4	37,9	9,7	12	120,3	10,8	20	212,6	12,1
5	47,7	9,8	13	131,3	11,0	21	224,8	12,2
6	57,6	10,9	14	142,4	11,1			
7	67,7	10,1	15	153,7	11,3			

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°,3.

Krystallisirtes salpetersaures Ammoniak **).

0°	0,0		6°	65,4	11,6	12°	142,4	14,0
1	10,0	10,0	7	77,3	11,9	13	156,9	14,5
2	20,5	10,5	8	89,4	12,1	14	172,0	15,1
3	31,3	10,8	9	101,9	12,5	15	188,0	16,0
4	42,4	11,1	10	114,9	13,0	16	204,4	16,4
5	53,8	11,4	11	128,4	13,5	17	221,4	17,0

*) In dem Zustande, wo es alles Wasser verloren hat, bis auf das, was es behalten muß, um nicht pyrophosphorsaures Natron zu werden.

**) Das angewandte Salz schien trocken zu sein. Als die Temperatur bis auf 180° C. gebracht wurde, enthielt die Lösung kaum noch Wasser. Dennoch begann die Zersetzung erst zwischen 190° und 200° C.

Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede	Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede	Verzug des Siedepunktes	Salzmenge auf 100 Wasser	Unterschiede
18°	238,8	17,4	34°	590,0	52,7	52°	1273	99,5
19	256,8	18,0	36	645,0	55,8	54	1383	110
20	275,3	18,5	38	705,5	60,5	56	1504	121
22	314,0	38,7	40	770,5	65,0	58	1637	133
24	354,0	40,0	42	840,6	70,1	60	1773	136
26	396,0	42,0	44	915,5	74,9	62	1923	148
28	440,2	44,2	46	995,5	80,0	64	2084	161
30	487,4	47,2	48	1081,5	86,0	80	∞	
32	537,3	49,9	50	1173,5	92,0			

Siedepunkt des reinen Wassers = 100°.

Salmiak.

0°	0,0	7,8	6°	35,7	5,6	12	73,3	7,2
1	7,8	6,1	7	41,3	6,0	13	80,5	7,6
2	13,9	5,8	8	47,3	6,2	14	88,1	0,8
3	19,7	5,5	9	53,5	6,4	14,2	88,9	
4	25,2	5,3	10	59,9	6,5			
5	30,5	5,2	11	66,4	6,9			

Siedepunkt des reinen Wassers 100°.

Der Untersuchungen von Rudberg ist im Vorhergehenden, was ihre hauptsächlichsten Resultate betrifft (s. oben S. 26), schon gedacht worden. Man hatte bis dahin fast allgemein angenommen, die Temperatur eines aus einer Flüssigkeit sich entwickelnden Dampfes habe immer die Temperatur der obersten Schicht der Flüssigkeit, aus welcher er sich entwickelte *). Rudberg zeigte, daß diese Ansicht unrichtig sei, daß vielmehr die Temperatur des aus einer siedenden Salzlösung aufsteigenden Dampfes unabhängig sei von der Natur und der Menge des Salzes; sie ist bei gleichem Barometerstande absolut dieselbe, wie die des Dampfes aus reinem Wasser. Es wurde so ein früherer Ausspruch Faraday's **): der aus Salzsolutionen aufsteigende Dampf habe nur eine Temperatur von 100° C., bestätigt. Rudberg verglich mit Hülfe eines sehr sorgfältig construirten Apparates die unter demselben Luftdrucke erzeugten Dämpfe von reinem Wasser mit den Dämpfen von verschiedenen Lösungen salpetersauren Kalkes, Salpeters, kohlensauren Kalis und salzsauren Kalkes, und reducirte die beobachteten Temperaturen auf den Barometerstand von 76 Millim. bei einer Temperatur von 0°. Aus dem gefundenen Resultate ergiebt sich dann der weitere Erfahrungssatz, daß der Dampf, welcher aus reinem Wasser entwickelt wird, heißer und elastischer ist als derjenige Dampf, welcher bei derselben Temperatur der Flüssigkeit und bei demselben Barometerstande aus Salzsolutionen sich entwickelt.

An die Untersuchungen über das Verhalten der Salzsolutionen schließen sich diejenigen über die Veränderungen der Siedetemperatur, welche eine Flüssigkeit

*) So Gay-Lussac in Leçons de Physique T. I. p. 416. Vergl. Biot, traité de physique T. I. p. 285. Pouillet Elem. de phys. Ed. 2. T. I. p. 360.

**) Ann. de chym. et phys. T. XX. p. 325.

dadurch erleidet, daß sie mit irgend einer anderen Flüssigkeit in demselben Gefäß sich befindet, in welchem sie erhitzt wird. Die gründlichste Untersuchung über diesen nicht unwichtigen, aber ziemlich schwierigen Gegenstand hat Magnus*) angestellt, und ich theile dieselbe daher im Folgenden mit.

Gay-Lussac**) hat zuerst eine Erklärung von dem Vorgange beim Sieden eines Gemenges zweier Flüssigkeiten gegeben, die keine Einwirkung auf einander ausüben, und meint, daß die Temperatur des Siedepunktes eines solchen Gemenges variire, daß die niedrigste Temperatur, bei welcher dasselbe siede, die sei, bei welcher die Summe der Spannkräfte der Dämpfe beider Flüssigkeiten gleich sei dem Druck der Atmosphäre, und daß diese Temperatur steigen könne bis zum Kochpunkte der flüchtigsten Flüssigkeit. — Bei Bestimmung des Kochpunktes von verschiedenen flüchtigen Oelen und Wasser, sowie von Schwefelkohlenstoff und Wasser fand Magnus die Temperatur des Kochpunktes dieser Gemische stets etwas höher, als den Kochpunkt der flüchtigsten Flüssigkeit. — Diese Temperatur des Kochpunktes war unabhängig von der vorhandenen Quantität der flüchtigern Flüssigkeit und blieb ganz ungeändert, so lange noch etwas von dieser letztern im tropfbar flüssigen Zustande vorhanden war. — Wurde indeß die Temperatur des Dampfes, der sich aus einem solchen Gemische entwickelt, untersucht, so war dieselbe stets niedriger als die Temperatur der kochenden Flüssigkeit. Auch diese Temperatur des Dampfes blieb ungeändert, so lange die Temperatur der kochenden Flüssigkeit ungeändert blieb, d. i. so lange noch etwas von der flüchtigen Flüssigkeit im tropfbaren Zustande vorhanden war. So war z. B. die Temperatur, bei welcher frisch rectificirtes Terpentinöl, gemischt mit Wasser unter dem barometrischen Druck von 749mm,6 kochte, 102° C.; die Temperatur des Dampfes war hingegen nur 94°,5 C. — Ein Gemenge aus Schwefelkohlenstoff und Wasser kochte unter dem barometrischem Druck von 752mm,2 bei 47° C., während die Temperatur des Dampfes nur 43°,5 C. war. — So lange noch Schwefelkohlenstoff sichtbar vorhanden war, waren diese Temperaturen ungeändert, die Flüssigkeit siedete und es destillirte Wasser und Schwefelkohlenstoff über. Sobald aber kein Schwefelkohlenstoff mehr sichtbar war, stieg die Temperatur der Flüssigkeit und des Dampfes, es hörte das Sieden auf und es destillirte nichts mehr über. — Wenn ein Gemisch aus zwei Flüssigkeiten kocht, so muß die Temperatur desselben so hoch sein, daß die Dämpfe der flüchtigern Flüssigkeit sich ungehindert bilden können, und eine Spannkraft besitzen, die ebenso groß ist, als der Druck, der auf sie ausgeübt wird. Diese flüchtigere Flüssigkeit muß daher überall, wo sich Dampfblasen aus ihr erzeugen, eine Temperatur haben, die wenigstens so hoch ist als ihr Kochpunkt; denn bei einer niedrigern Temperatur kann zwar Dampfbildung an der Oberfläche, aber keine Entwicklung von Dampfblasen stattfinden. Nimmt aber diese Flüssigkeit die untere Schicht ein, so befindet sie sich nicht nur unter dem Drucke der Atmosphäre, sondern auch unter dem Drucke der über ihr befindlichem Flüssigkeit; sie wird deshalb eine Temperatur annehmen, die noch höher ist als ihr Kochpunkt unter dem gewöhnlichen Luftdrucke. — Bei den Gemischen, die Magnus untersucht hat und bei denen die flüchtigere Flüssigkeit die untere war, war auch stets die Temperatur, bei welcher das Gemisch kochte, ungefähr die, welche die flüchtigere Flüs-

*) Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 481.
**) Ann. de Chim. et Phys. T. XLIX. p. 393. — Pogg. Ann. Bd. XXV. S. 498.

sigkeit durch diese Vermehrung des Druckes annehmen mußte. — Die obere Flüssigkeit hat da, wo sie auf der untern ruht, dieselbe Temperatur als diese, und bevor sie dieselbe angenommen, können keine Dampfblasen aus der untern Schicht in ihr aufsteigen, weil dieselben sonst bei ihrem Eintreten abgekühlt werden und dadurch so an Spannkraft verlieren, daß sie unter dem vorhandenen Drucke nicht mehr bestehen können. Deshalb muß auch diese Flüssigkeit und folglich das ganze Gemisch eine Temperatur haben, die wenigstens so hoch ist als der Siedepunkt der flüchtigen Flüssigkeit. — Während der Dampf aber durch die obere weniger flüchtige Flüssigkeit durchgeht, verhält sich der Raum, den er einnimmt, für die Dämpfe dieser letztern Flüssigkeit wie ein leerer Raum. In diesen Raum werden auch Dämpfe dieser weniger flüchtigen Flüssigkeit eingehn. Die Spannkraft der Dämpfe beider Flüssigkeiten wird nun nur zusammen den Druck zu überwinden haben, der auf sie ausgeübt wird. Es werden daher die Dämpfe der flüchtigern Flüssigkeit sich ausdehnen und eine um soviel geringere Spannung annehmen, als die Spannung beträgt, welche die Dämpfe der weniger flüchtigen Flüssigkeit ausüben. — Zu dieser neuen Dampfbildung der weniger flüchtigen Flüssigkeit, sowie zu der Ausdehnung des Dampfes der flüchtigen Flüssigkeit ist Wärme erforderlich. Es werden daher die Dämpfe beider Flüssigkeiten eine niedrigere Temperatur annehmen, als die des Kochpunktes der flüchtigern Flüssigkeit, nämlich die Temperatur, bei welcher die Summe der Spannung der Dämpfe beider Flüssigkeiten gleich dem Drucke der Atmosphäre ist. Gay-Lussac meint, daß auch das Gemenge selbst in seiner obern Schicht eine ebenso niedrigere Temperatur annehmen könne; allein wenn man die Ausgleichung der Temperatur berücksichtigt, die nach kurzer Zeit theils durch das Aufsteigen der erwärmten Schichten, theils dadurch eintritt, daß einzelne Theile der untern Flüssigkeit mechanisch durch die Dampfblasen fortgerissen und bis auf die Oberfläche des Gemisches geführt werden, so möchte die Temperatur dieses Gemisches selbst an seiner Oberfläche nicht niedriger, als die des Kochpunktes der flüchtigern Flüssigkeit sein können.

Sowohl die Temperatur der Flüssigkeit, als auch die der Dämpfe bleibt ungeändert, so lange sich von beiden Flüssigkeiten Dämpfe genug erzeugen können, damit die Spannkraft der Dämpfe beider Flüssigkeiten in Summe gleich ist dem Drucke, der auf sie ausgeübt wird. Dies ist stets der Fall, so lange noch beide Flüssigkeiten im tropfbaren Zustande vorhanden sind. Es wird daher, wie auch die eben erwähnten Versuche gezeigt haben, die Temperatur des Gemenges und des Dampfes ungeändert bleiben, so lange noch irgend etwas von der flüchtigern Flüssigkeit tropfbar vorhanden ist. Bei Anwendung eines Destillationsapparats dringen die Dämpfe beider Flüssigkeiten bei dieser niedrigern Temperatur in den Kühlapparat und destilliren. Sobald aber von der flüchtigern Flüssigkeit nichts mehr tropfbarflüssig vorhanden ist, wird die Spannkraft ihrer Dämpfe geringer und ist nun nicht mehr, vereint mit der Spannkraft der Dämpfe der weniger flüchtigen Flüssigkeit, im Stande, den Druck der Luft zu überwinden. Die Dämpfe dringen alsdann nicht mehr in den Kühlapparat und das Destilliren hört auf, wiewohl noch Dämpfe der flüchtigern Flüssigkeit vorhanden sind.

Wir haben bis jetzt nur den Fall erwähnt, in welchem die flüchtigere Flüssigkeit die untere Schicht einnimmt. Bildet sie hingegen die obere Schicht, so wird sie ihre Wärme von der untern Flüssigkeit erhalten und kochen, wie wenn sie sich allein in dem Gefäße befände. Magnus stellte hierher gehörige Versuche mit

Combinationen von Quecksilber mit Wasser oder Oelen und Wasser mit Cautschoucine an.

Ganz verschieden von den Dämpfen der Flüssigkeiten, die nicht auf einander einwirken, verhalten sich die Dämpfe zweier Flüssigkeiten, die in ihrem tropfbaren Zustande sich mischen. Dergleichen Mischungen ändern ihren Kochpunkt beständig, je nachdem das Verhältniß der vorhandenen Quantitäten der Flüssigkeiten sich ändert. Die Dämpfe eines solchen Gemisches haben immer dieselbe Temperatur als die kochende Flüssigkeit, und ändern ihre Temperatur mit dieser. Da nun die Temperatur des kochenden Gemenges stets höher ist, als der Kochpunkt der flüchtigsten Flüssigkeit, so ist die Temperatur der Dämpfe ebenfalls höher als diese und um so viel mehr höher, als die Temperatur, bei welcher die Summe der Maxima, der Spannungen von den Dämpfen beider Flüssigkeiten gleich dem Drucke der Atmosphäre ist. Es geht daraus hervor, daß die Dämpfe wenigstens von einer der beiden Flüssigkeiten, wahrscheinlich aber von beiden, sich nicht im Maximum ihrer Spannung befinden.

Bringt man eine Flüssigkeit, z. B. Aether, in den leeren Raum eine Barometerröhre, und fügt, nachdem man das Maximum der Spannung der Dämpfe bei der vorhandenen Temperatur beobachtet hat, eine andere Flüssigkeit hinzu, die eine geringere Spannung der Dämpfe bei derselben Temperatur besitzt, und mischbar mit dem Aether ist, z. B. Alkohol, so ist die Spannung der Dämpfe beider Flüssigkeiten geringer, als die des Aethers allein und wird immer geringer, je mehr man von dem Alkohol hinzufügt, so daß sie bei einer sehr großen Menge von Alkohol im Verhältniß zum Aether fast der Spannung des Alkohols bei der vorhandenen Temperatur gleich wird. Dasselbe ist der Fall, wenn man statt des Alkohols Terpentinöl, oder statt des Aethers Schwefelkohlenstoff oder Caoutschoucine anwendet, oder wenn man Alkohol einbringt und dazu Wasser setzt. Bei diesen Versuchen, die sämmtlich bei 17°,5 C. angestellt sind, waren stets beide Flüssigkeiten in solcher Menge angewendet, daß sie tropfbar in dem Barometerrohr vorhanden waren. Ganz anders möchte es sich verhalten, wenn dies nicht der Fall ist, und Gay-Lussac hat schon gezeigt*), daß bei einer Temperatur, die höher als 100° C. ist, und bei der die beiden Flüssigkeiten nicht im Maximo der Spannung sich befinden, der Raum, den der Dampf von jeder der gemischten Flüssigkeiten einnimmt, derselbe ist, den der Dampf jeder Flüssigkeit für sich einnehmen würde. Bringt man aber zwei Flüssigkeiten, die sich nicht mit einander mischen, in eine Barometerröhre, so ist die Spannung ihrer Dämpfe bei jeder Temperatur gleich der Summe der Spannungen der Dämpfe von beiden Flüssigkeiten. Diese Verschiedenheit in dem Verhalten der mischbaren und nicht mischbaren Flüssigkeiten kann nicht darauf beruhen, daß zwei Flüssigkeiten, die sich mischen, gleichsam eine neue Flüssigkeit bilden, die ihre eigene Spannung der Dämpfe besitzt. Denn alsdann wäre nicht einzusehen, warum die Dämpfe dieser neuen Flüssigkeit nicht dieselbe Zusammensetzung als die tropfbare Flüssigkeit haben, und doch ergiebt sich aus den Destillationsproducten, daß dies nicht der Fall ist. Es beruht dies Verhalten der mischbaren Flüssigkeiten, wie Magnus glaubt, nur auf einer gegenseitigen Anziehung, die zwischen den Theilen zweier mischbaren Flüssigkeiten stattfindet, in Folge deren die eine Flüssigkeit im tropfbaren Zustande die Theile der andern an

*) Ann. de Chim. T. XCV. p. 314. — Biot Traité de Physique. T. I. p. 298.

sich zieht, selbst wenn diese dampfförmig sind. Hierdurch wird die Spannung der Dämpfe dieser Flüssigkeit vermindert, und zwar um so viel mehr, je mehr von der andern Flüssigkeit tropfbar vorhanden ist, indem die Anziehung um so größer ist, je größer die Menge der anziehenden Flüssigkeit ist. — Im Allgemeinen wird die Spannung der Dämpfe beider Flüssigkeiten zusammen geringer, als die Spannung der Dämpfe der flüchtigsten Flüchtigkeit sein; es wäre jedoch möglich, daß sie in gewissen Fällen größer würde, wenn nämlich die gegenseitige Anziehung zwischen beiden Flüssigkeiten nur gering ist. Bei seinen Versuchen fand Magnus sie jedoch stets geringer, als die Spannung der flüchtigsten Flüssigkeit.

Das Kochen zweier Flüssigkeiten, die mischbar sind, wird hiernach nicht allein von der Spannung der Dämpfe von jeder von beiden Flüssigkeiten abhängen, wie dies bei den nicht mischbaren Flüssigkeiten der Fall ist, sondern außerdem auch noch von der Anziehung beider Flüssigkeiten zu einander, und diese Anziehung ändert sich nach dem Verhältnisse, in welchem die Flüssigkeiten gegenwärtig sind.

Für ein bestimmtes Verhältniß der Flüssigkeiten wird das Kochen bei der Temperatur eintreten, bei welcher die Spannungen, welche die Dämpfe von jeder der beiden Flüssigkeiten durch die Anziehung der andern annehmen, in Summe gleich dem Drucke der Atmosphäre sind. Ist bei dieser Temperatur das Verhältniß der Quantitäten der entstandenen Dämpfe nicht dasselbe, als das der beiden tropfbaren Flüssigkeiten, so werden die von beiden durch das Kochen sich verflüchtigenden Mengen nicht in demselben Verhältnisse stehen, als die zurückbleibenden und es wird daher das Verhältniß der zurückbleibenden Flüssigkeiten sich ändern. Hierdurch ändert sich die Anziehung, die jede der beiden Flüssigkeiten auf die Dämpfe der andern ausübt und hierdurch ändert sich wieder das Verhältniß der Dämpfe, sowie die Temperatur, bei der ihre Spannungen zusammen gleich dem Drucke der Atmosphäre sind. Es wird sich daher die Temperatur des Kochpunktes fortwährend ändern, und nur in dem einen Falle ungeändert bleiben, in welchem die Quantitäten der Dämpfe, die sich bei dem Kochen verflüchtigen, in demselben Verhältniß, als die zurückbleibenden Flüssigkeiten stehen.

Dieser Fall z. B. tritt ein, wenn man Alkohol durch Destillation zu concentriren sucht. Bei einem gewissen Verhältniß von Alkohol und Wasser verhalten sich die Quantitäten der Dämpfe der beiden Flüssigkeiten, bei der Temperatur, bei welcher sie zusammen gleich dem Druck der Atmosphäre sind, wie die vorhandenen Quantitäten der Flüssigkeiten; alsdann hat das Destillat dieselbe Zusammensetzung, wie der Rückstand und es ist keine Concentration des Alkohols möglich. Setzt man darauf aber dem Gemisch ein Salz zu, das Wasser absorbirt, z. B. Pottasche oder Chlorcalcium, so wird hierdurch, wie schon Gay Lussac*) gezeigt hat, die Spannung der Wasserdämpfe bei unveränderter Temperatur vermindert; die Dämpfe des Gemisches bestehen alsdann fast nur aus Alkoholdämpfen, und diese destilliren fast wasserfrei über.

Eine eigenthümliche Erscheinung beim Sieden der Flüssigkeiten ist das sogenannte Singen. Dasselbe entsteht dadurch, daß sich an den wärmsten Punkten, zumeist am Boden und an den Wänden des erhitzten Gefäßes Dampfbläschen bilden, welche emporsteigen, sobald sie aber in Wasserschichten gelangen, welche noch nicht die Temperatur des Dampfes haben, wieder zerspringen. Es tritt dieses

*) Biot Traité de Physique. T. II. p. 200.

Singen gewöhnlich dann ein, wenn die Flüssigkeit eine Temperatur von ungefähr 85° erlangt hat, und hört auf, wenn dieselbe die volle Siedetemperatur erlangt hat.

Einer anderen eigenthümlichen Erscheinung ist im Vorhergehenden schon wiederholt gedacht worden, nämlich des Stoßes oder Aufstoßen, welches beim Sieden mancher Flüssigkeiten vorkommt. Gay-Lussac, welcher zuerst darauf aufmerksam machte, meinte, dasselbe zeige sich dann, wenn die ruhigen Flüssigkeiten ohne aufsteigende Dampfblasen über ihren Siedepunkt erhitzt werden. Bei der Schwefelsäure sind die Stöße so heftig, daß man sie nicht destilliren kann, ohne Gefahr der Zertrümmerung der Gefäße. Als Mittel zur Vermeidung dieses Stoßens gab Gay-Lussac an, man solle einige Stückchen Platindraht in die zu erhitzende Flüssigkeit thun. Offenbar besteht das Stoßen aus einer Stockung in der Entwicklung des Dampfentwicklungsprocesses, während sich die Temperatur der Flüssigkeit fortwährend erhöht, bis dann dieser Proceß so plötzlich und gewaltsam eintritt, daß er die Gestalt einer Explosion annimmt. (Vergl. die oben S. 24 u. ff. angeführten Beobachtungen von Marcet). Die Spitzenwirkung, auf welche wir als Vermittlerin des Siedeprocesses schon aufmerksam wurden (siehe S. 26), tritt auch hier wieder bedeutsam auf. Magnus **) beobachtete das Stoßen beim Kochen zweier Flüssigkeiten, die nicht mit einander mischbar sind, wenn die minder flüchtige Flüssigkeit die obere war, besonders bei flüchtigen Oelen und Wasser. Dasselbe war oft so heftig, daß es die Gefäße zu zerbrechen drohte. Bringt man die Kugel eines Thermometers in die untere Flüssigkeit, dicht unter die Oberfläche derselben, also dicht unter die Grenze beider Flüssigkeiten, so sieht man das Thermometer unmittelbar vor dem Stoßen allmälig steigen. Die Flüssigkeiten sind alsdann ganz ruhig, sie wallen nicht, es destillirt nichts über, und die obere Flüssigkeit bildet eine zusammenhängende Schicht über der untern. Hierbei nimmt das Thermometer einen Stand an, der oft 3° bis 5°, zuweilen aber auch 10° C. höher ist als der Kochpunkt des Gemisches. Plötzlich entsteht ein Stoßen, die obere Schicht wird durchbrochen, eine große Menge von Dampf entwickelt sich, und das Thermometer sinkt bis auf den Kochpunkt des Gemisches hinab, auf welcher Temperatur es ungeändert bleibt, so lange die Dämpfe der untern Flüssigkeit gehörig durch die obere entweichen. Es scheint also, daß der Zusammenhang zwischen den Theilen der obern Flüssigkeit so groß sein kann, daß durch ihn die Dampfbildung in der untern Flüssigkeit gehindert wird, selbst wenn die Temperatur der letztern um mehrere Grade höher ist, als sie zum Kochen unter dem vorhandenen Druck zu sein brauchte. Diese höhere Temperatur nimmt die untere Flüssigkeit an, weil sich keine Dämpfe aus ihr entwickeln können. Endlich aber steigt die Spannung der Dämpfe so hoch, daß sie den Zusammenhang zwischen den Theilen der obern Flüssigkeit durchbricht und dadurch das Stoßen hervorbringt. Befindet sich Platinadraht, oder, in Ermangelung desselben, Eisendraht in einem solchen Gemisch, so findet kein Stroßen statt, selbst wenn die obere Flüssigkeit ein ganz dickes zähes Terpentinöl ist, das ohne Draht kaum zu kochen möglich ist. Diese Wirkung des Platindrahtes ist um so merkwürdiger, als derselbe das

*) Ann. de Chim. et Phys. 1818. Mars.

**) Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 491.

Stoßen vollkommen verhindert, selbst wenn er sich nur in der untern Flüssigkeit befindet, ohne in die obere hineinzuragen. Man muß sich aber hüten, einen solchen Draht erst in das Gemisch einzuführen, wenn es schon nahe bis zum Kochen erwärmt ist, weil hierbei bisweilen ein so heftiges Aufkochen plötzlich eintritt, daß die Flüssigkeit gewaltsam aus dem Gefäße geworfen wird.

Legrand fand, wie schon oben (S. 30) erwähnt wurde, daß das Stoßen durch verschiedene Salze, selbst in sehr kleiner Menge dem Wasser zugesetzt, verhindert wurde. Gewöhnlich glaubt man, sagt Legrand *), man brauche nur einige Stücke irgend eines Metalles in die Flüssigkeit zu schütten, und man hat daher wegen seiner Unveränderlichkeit Platin hierzu angewendet. Allein dies ist ein Irrthum. Das Platinfeilicht begünstigt das Sieden nur wegen der Luft, die man damit zugleich in das Wasser bringt; wartet man, bis diese Luft entwichen ist, so stellt sich auch das Aufstoßen wieder ein. Der Zustand des Metalls ist keineswegs ohne Einfluß, es wirkt durchaus nicht gleich als Pulver oder als Masse; allein am wesentlichsten ist die Natur des Metalls. Die wirksamsten Metalle in Verhinderung des Aufstoßens sind Zink und Eisen, d. h. diejenigen Metalle, welche das Wasser am leichtesten zersetzen.

Die Erschütterung bei dem Phänomene des Stoßens ist die Folge von der plötzlichen Umwandlung einer verhältnißmäßig großen Quantität Flüssigkeit in Dampf, der sich gewaltsam ausdehnt und dadurch einen Stoß gegen die Flüssigkeit und das sie umschließende Gefäß nach allen Seiten ausübt, worauf dann, so wie die Dampfblase aufsteigt und entweicht, die Flüssigkeit wieder gewaltsam zurücksinkt.

Wenn man in einem engen Glasrohre, oder noch besser in einer Glaskugel, welche oberwärts in ein enges Rohr ausgeht, eine Flüssigkeit erwärmt, so kann man diese weit über ihren Siedepunkt erhitzen, endlich aber wird die Flüssigkeit gewaltsam aus der Röhre in einem Strahle heraus getrieben. In diesem Falle verschließt die an den Wandungen der Röhre stark adhärirende Flüssigkeit den unteren erhitzten Theil wie ein fester Deckel, wie ein Ventil auf einem Papin'schen Topfe, und erst wenn die Erhitzung so groß geworden, daß die dieser entsprechenden Dämpfe eine Spannkraft haben, groß genug, um den Verschluß, der sie niederhält, gewaltsam zu überwinden, erfolgt die Explosion.

Eine auffällige Erscheinung ist es, daß der Boden von Gefäßen, in welchen Wasser siedet, eine verhältnißmäßig niedere Temperatur hat. Jacquemyns **) lenkte die Aufmerksamkeit der Physiker auf die im Volke bekannte Thatsache, daß, wenn man ein Gefäß mit einer in ihm siedenden Flüssigkeit vom Feuer nehme, man dann den Boden desselben berühren könne, so lange das Sieden noch andauert, ohne eine heftige Hitzeempfindung. Diese Erscheinung beobachtete er namentlich bei Metallgefäßen, nicht aber bei Porzellangefäßen. Die Dünnheit des Bodens ist Bedingung. Schon Aristoteles kannte die Erscheinung ***). Die Mitglieder der Pariser Academie prüften im Anfange des vorigen Jahrhunderts †) die Thatsache und fanden als Bedingungen, daß das Gefäß groß und sein Boden dünn sein müsse.

---

*) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 380.

**) Bulletin de l'acad. roy. de Bruxelles 1835. p. 113. — Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 467.

***) Problem. Lect. T. XXIII. §. 5.

†) Histoire de l'acad. 1703.

Die Erklärung dürfte wohl darin zu suchen sein, daß der Boden des Gefäßes nur als Leiter der Wärme von der Wärmequelle (dem Feuer) zur Flüssigkeit dient, so daß ihm die mitgetheilte Wärme alsbald wieder durch den sich bildenden Dampf entzogen wird (s. d. Folg.). Wenn die Seitenwände des Gefäßes heißer werden, und wenn der Boden nach dem Aufhören der lebhaften Dampfentwicklung heißer wird, so geschieht dieses dann durch Mittheilung der Wärme von der heißen Flüssigkeit an das umgebende Mittel. Der Boden des Gefäßes wird also kühler durch dieselbe Ursache, aus welcher bei rascher Verdunstung sogar Eis (s. d. Art.) sich bilden kann. Nach der Ansicht von Thomas Woodhouse*) soll sich am Boden des Gefäßes eine Schicht Dampf bilden und expandiren, welche die Wärme des Bodens absorbirte. Gewiß ist, daß die Dampfentwicklung da am stärksten geschieht, wo die meiste Wärme der Flüssigkeit zugeführt wird. Auf derselben Ursache beruht es, weshalb zinnerne und gelöthete Gefäße auf einem heißen Ofen stehend nicht schmelzen, so lange sie mit Flüssigkeit gefüllt sind, während sie ohne die Flüssigkeit schmelzen. Die ihnen zugeführte Wärme wird ihnen alsbald wieder von der verdampfenden Flüssigkeit entzogen, und so können sie sich nicht bis zu ihrem Schmelzpunkte erhitzen. Eine Folge von der Verbrauchung der Wärme zur Dampfbildung ist ferner die Erscheinung, daß, wenn man in ein mit siedendem Wasser gefülltes Gefäß ein zweites Gefäß mit Wasser stellt, dieses letztere niemals zum Sieden gebracht werden kann. Wie viel Wärme man auch durch Verstärkung der Feuerung dem ersten Gefäße zuführen mag, immer wird hierdurch nur der Verdampfungsproceß in diesem beschleunigt, in das innere Gefäß aber pflanzt er sich nicht fort, weil dem inneren Gefäße durch das verdampfende Wasser immer wieder ein Theil der Wärme entzogen wird, die es durch Mittheilung von der umgebenden Flüssigkeit erhält. Lamperti setzte vier mit Wasser gefüllte Gefäße in einander und beobachtete dann, während das Wasser in dem äußersten siedete, in den Gefäßen folgende Temperaturen: 100°; 92°,5; 86°,25; 82°,5. War das äußere Gefäß mit Salzwasser gefüllt, so zeigten sich die Temperaturen: 102°,5; 95°,0; 87°,5; 83°,75 C. Das Wasserbad oder Marienbad (lat. balneum maris s. Mariae; franz. bain-Marie), dessen sich die Chemiker bedienen, wenn sie eine Flüssigkeit einer der Siedetemperatur des Wassers nahen gleichförmigen Temperatur aussetzen wollen, ist nichts anderes als eine technische Anwendung des eben erwähnten Experimentes. Es wird in ein Gefäß mit siedendem Wasser ein zweites Gefäß mit der betreffenden Flüssigkeit gesetzt.

Was den Einfluß des Luftdruckes auf die Siedetemperatur betrifft, so ist derselbe im Allgemeinen leicht nachzuweisen. Im luftverdünnten Raume der Luftpumpe siedet das Wasser schon bei verhältnißmäßig sehr niederen Temperaturen. Im Allgemeinen kann man sagen, daß das Wasser bei jeder Temperatur zum Sieden gebracht werden kann, wenn man es in eine hinreichend verdünnte Atmosphäre bringt. Die Erscheinungen des Wasserhammers (s. d. Art.) und der ähnlichen Apparate beruhen auf dem Sieden der Flüssigkeiten im luftleeren Raume bei niederen Temperaturen. Versuche in einer Atmosphäre von verdichteter Luft würden ergeben, daß hier das Wasser bei 100° C. noch nicht, sondern erst bei verhältmäßig höheren Temperaturen siedete. In ganz verschlossenen Gefäßen kann man das Wasser zu sehr hohen Temperaturen erhitzen, ohne daß die Erscheinungen des

*) Edinb. New. Philos. Journ. N. LX. p. 378.

Siedens eintreten. S. d. Art. **Digestor**. Aber auch in offenen Gefäßen und bei dem gewöhnlichen Luftdrucke der Atmosphäre sind die Siedetemperaturen verschieden, je nachdem der Barometerstand ein niedrigerer oder höherer ist. Wir werden auf diesen Gegenstand im Art. **Temperatur** ausführlich zu sprechen kommen. Endlich variirt die Siedetemperatur auch in den verschiedenen Höhen über dem Meeresspiegel in demselben Verhältnisse, in welchem der Luftdruck (der Barometerstand) mit der Erhebung in die Atmosphäre abnimmt. Man kann daher auch das Thermometer, wie das Barometer, als Instrument zur **Höhenmessung** (s. d. Art.) benutzen.

Gewisse Flüssigkeiten zeigen, wenn man sie durch Hitze in Dampf umzuwandeln versucht, noch eigenthümliche Erscheinungen. So werden die fetten Oele z. B. gar nicht in Dampf verwandelt. Zwar wallen sie unter dem Einflusse der Hitze ähnlich wie siedendes Wasser auf, nach **Placidus Heinrich** *) und **Carradori** **) wird dieses Wallen aber bloß durch das in Dampfform entweichende mit den Oelen verbundene Wasser erzeugt. Dagegen werden die Oele durch die Hitze zersetzt, wobei sie immer dickflüssiger werden.

Wenn man auf eine sehr heiße Metallfläche Wassertropfen fallen läßt, so verdampfen sie nicht alsbald, sondern bilden Kügelchen, welche sich drehend bewegen und verhältnißmäßig nur langsam verdampfen. Läßt man die Metallfläche nach und nach erkalten, so beginnt das Wasser, wenn die Temperatur bis auf einen gewissen Grad gesunken ist, plötzlich mit der größten Heftigkeit zu sieden, so daß Theilchen desselben nach allen Richtungen fortgeschleudert werden. Man hat diese Erscheinung das **Leidenfrost**'sche Phänomen genannt, weil **Leidenfrost** zuerst die Aufmerksamkeit auf sie lenkte. Schon früher hatte **Eller** ***) sie beschrieben. **Leidenfrost** sagte in einem 1756 zu Duisburg gedruckten Tractat De aquae communis qualitatibus: er habe beobachtet, daß ein Tropfen Wasser, in einen weißroth glühenden eisernen Löffel gebracht, sehr lange Zeit zum Verdampfen gebrauche und dabei ein Kügelchen bilde, welches sich entweder drehe oder unbeweglich bleibe und durchsichtig sei, wie Krystall. Im Jahre 1802 wurde dieser Versuch von **Klaproth** ****) wiederholt. Er machte ihn in Schälchen von Eisen, Platin und Silber und fand, daß die zur Verdunstung gleich großer Tropfen erforderlichen Zeiten mit der Zunahme der Temperaturen abnehmen, und daß beim Weißrothglühen die Dauer der Verdampfung nicht gleich sei in den verschiedenen Metallen. Sie betrug bei Eisen 40 Sec., bei Silber 60 Sec., bei Platin 70 Sec. **Buff** †) schloß aus den von ihm angestellten Versuchen, daß die gute Leitungsfähigkeit des festen Körpers eine wesentliche Bedingung zum Gelingen der Versuche sei. Er zog daher Silber dem Platin vor. Um die Ursache dieser Erscheinung zu ermitteln, überzog **Rumford** ††) einen Silberlöffel inwendig mit Ruß, indem er ihn über eine Kerzenflamme hielt und schüttete darauf einen Tropfen Wasser hinein, welcher sich in gewöhnlicher Temperatur zu einem Kügelchen abrundete, da er

*) Phosphorescenz der Körper. Th. I. S. 188. — **Gilb.** Ann. Bd. XII. S. 102.
) **Brugnatelli Giorn. T. III. p. 380.
***) Histoire de l'academie de Berlin 1746. p. 2.
****) Journ. de Phys. 1802. p. 62. — **Gehler** N. Ausg. Bd. VII. S. 646.
†) **Pogg.** Ann. Bd. XXV. S. 591.
††) Memoires sur la chaleur p. 93. — **Gilb.** Ann. Bd. XVII. S. 33.

die berußte Fläche nicht zu netzen vermochte. Darauf konnte er den Löffel so weit erhitzen, daß er den Stiel nicht mehr zu halten vermochte, ohne daß der Wassertropfen sich merklich erhitzte. Rumford glaubte hieraus schließen zu dürfen, daß der Wassertropfen die Wärme reflectire und nicht in sein Inneres treten lasse. Döbereiner *) gelang es, die Tropfen in Platintiegeln bis zur Größe einer Wallnuß zu bringen. In einer im Jahre 1825 vor der Academie gelesenen Abhandlung berichtet Pouillet **) viele Versuche, die er unternommen, um die bei chemischen Actionen sich entwickelnde Elektricität aufzufinden, und sagt dabei, daß es ihm gelungen sei, einen großen weißroth glühenden Platintiegel bis zur Hälfte mit Wasser zu füllen und darin eine Viertelstunde zu erhalten, ohne daß es eine Bewegung oder merkliche Abnahme zeigte. Dagegen beobachtete er, daß Wasser, mit Tinte oder feinem Kohlenpulver versetzt, sehr rasch verdampfe und schloß daraus, das Phänomen entspringe wahrscheinlich aus der Leichtigkeit, mit welcher die strahlende Wärme stark erhitzter Körper verschiedene Mittel durchdringe. Es könnte wohl sein, setzt Pouillet hinzu, daß die von den weißroth glühenden Wänden des Tiegels ausgesandte Wärme durch das Wasser ginge, ohne absorbirt zu werden, und folglich ohne dasselbe so stark zu erhitzen, als es weniger heiße Strahlen thun.

Seitdem hat Lechevallier ***), wie Pouillet, gefunden, daß, wenn man Wasser tropfenweise in einen weißroth glühenden Platintiegel fallen läßt, man diesen damit ganz füllen und das Wasser lange Zeit ohne beträchtliche Verdampfung darin erhalten kann, daß aber dasselbe, sowie der vom Feuer abgenommene Tiegel bis unter Braunrothhitze herabgesunken ist, plötzlich in volles Sieden geräth und sich rasch in Dämpfe verwandelt. Ueberdies hat Lechevallier gesehen, daß, wenn er Wasser in ein glühendes Metallgefäß schüttete, dasselbe durch einen Stöpsel von gleichem Metall genau verschloß und darauf nach einiger Zeit öffnete, alsdann die Spannung der Dämpfe keine Zunahme, folglich die Temperatur der Flüssigkeit keine Erhöhung zeigte, obwohl während der Zeit kein Dampf entwichen war.

Gleichergestalt hat Perkins ****) bemerkt, daß, wenn man in einem Dampferzeuger eine kleine Oeffnung macht und nun denselben erhitzt, zwar anfangs ein geringes Ausströmen des Dampfes stattfindet, dasselbe aber bald aufhört, sowie das Gefäß die Rothgluth erreicht. Muncke †) machte dagegen die Bemerkung, daß kleine Tropfen durch ein 0,8 Lin. weites Loch in einer 11 Lin. dicken Eisenplatte fielen, sowohl bei geringerer Hitze, als auch wenn diese bis nahe zum Weißglühen stieg. Im Jahre 1836 unternahm Baudrimont ††) eine Reihe Versuche, um die Unrichtigkeit aller vor ihm aufgestellten Meinungen zu erweisen und zu zeigen, daß alle von Lechevallier beobachteten Thatsachen mit der größten Leichtigkeit durch Verdampfung der Flüssigkeit erklärt werden könnten. Nach Baudrimont muß der Dampf, wenn er rasch genug gebildet wird, die Flüssigkeit heben und verhindern, daß sie das Gefäß benäßt. Die Flüssigkeit könne sich alsdann nur durch

*) Schweigg. Journ. Bd. XXIX. S. 43. — Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 211.
**) Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 5. — Pogg. Ann. Bd. XI. S. 447.
***) Journ. de Pharmacie, 1830. T. XVI. p. 666.
****) Ann de Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 435. — Pogg. Ann. Bd. XII. S. 316.
†) Gehl. phys. Wörterb. N. A. Bd. X. S. 491.
††) Ann. de Chim. et Phys. T. LXI. p. 319.

Strahlung erwärmen, erzeuge aber fortwährend Dampf, welcher ihr die Berührungswärme entzieht. Daraus folge, daß die Flüssigkeit sich nicht weiter erhitzen und ganz unmöglich sieden könne, denn dazu sei erforderlich, daß die Flüssigkeit an der Wand des Gefäßes hafte, damit der Dampf, indem er sich gegen dieselbe stütze, die Cohäsion der Flüssigkeit überwinden könne, eher als die Adhärenz derselben zum Gefäße. Laurent *) dagegen machte Versuche, die ihn zu noch andern Schlüssen führten. Er fand zunächst, daß ein Volumen Wasser in einem benäßten und erkalteten Tiegel fünfmal schneller verdampfe, als in einem rothglühenden.

Allgemein nahm man an, daß das Wasser bei diesen Versuchen die Wand des rothglühenden Tiegels nicht berühre, vielmehr von einer Dampfschicht getragen werde und daraus schloß man, daß das Sieden desselben unmöglich sei. Laurent sagt, das Wasser berühre zwar den Tiegel nicht fortwährend, allein es tanze darauf, gleich einer Billardkugel, die man auf eine horizontale Fläche fallen läßt. Der Wassertropfen ist nach ihm einer in jedem Augenblick sich ändernden Vibrationsbewegung unterworfen, und diese Bewegung wird erzeugt durch den Dampf, der sich unter dem Tropfen bildet, jedesmal, wenn derselbe den Tiegel berührt, d. h. der durch den Dampf gehobene Tropfen sinke nieder, um wieder gehoben zu werden und so fort.

Boutigny **) zeigt, daß das Phänomen, welches er als das der Calefaction bezeichnet, nicht bloß, wie man bis dahin annahm, bei sehr hoher Temperatur sich zeige. Es gelang ihm, dasselbe in einem kleinen Tiegel von Blei, einem Metall, welches bei 260° C. schmilzt, hervorzubringen. Er hat die Versuche nicht nur mit Wasser, sondern auch mit Alkohol in verschiedenem Grade der Concentration, Aether, Terpentinöl, Citronenöl, Alkali und Salzlösungen, Säuren ꝛc. angestellt. Schon Pouillet studirte diese Wirkungen eines instantanen Wärmeeinflusses bei wässerigen Lösungen von Baryt, Strontian, Kali und Natron, und gelangte zu dem recht merkwürdigen Resultat, daß, während der ganzen Dauer des Versuchs, der sich verflüchtigende Körper gegen den zurückbleibenden im entgegengesetzten Elektricitätszustande befindlich sei.

Boutigny fand unter Andern, daß Aether in einen fast rothglühenden Platintiegel getröpfelt, sich so gut wie Wasser calefiirt, d. h. ohne Zeichen von Sieden zu äußern sich abrundet, rasch rotirt und den Tiegel nicht zu benetzen scheint. Dennoch nimmt seine Masse beständig ab, wiewohl weit langsamer, als wenn das Gefäß kalt wäre. Während dieser langsamen Verdampfung entwickelt sich ein sehr stechender Geruch, der nichts mit dem Aether gemein hat. N. W. Fischer ***) hatte gefunden, daß Weingeist bei dem Leidenfrost'schen Versuch einen Geruch nach Lampensäure entwickelte. Ebenso entwickelten auch andere Flüssigkeiten Gerüche, die nicht ihren Dämpfen entsprachen, woraus dann Fischer schloß, daß nicht eine Verdampfung, sondern eine Zersetzung der Flüssigkeiten durch die Hitze bewirkt werde. Doch können auch erst die entwickelten Dämpfe eine solche Zersetzung

---

*) Ann. de Chim. et Phys. T. LXIV. p. 327.

**) Der Bericht über Boutigny's Arbeit von Robiquet s. in Compt. rend. T. X. p. 297. — Ann. de Chim. et Phys. 3. Sér. T. XI. p. 16. — Pogg. Ann. LI. S. 130. Wir sind diesem Berichte auch im Vorhergehenden gefolgt. — Vergl. Frankenheim, die Lehre von der Cohäsion ꝛc. Breslau, 1835. S. 124.

***) Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 514. Bd. XXI. S. 163.

erleiden; Döbereiner fand, daß das Wasser nicht in seine Bestandtheile zerlegt wurde

Ein anderer, noch merkwürdigerer Versuch Boutigny's ist der mit wasserfreier schwefliger Säure. Man weiß, daß diese Säure äußerst flüchtig ist, sich flüssig nur in verschlossenen Gefäßen aufbewahren läßt und sogleich unter Sieden in den Gaszustand zurückkehrt, sowie man ihr den Austritt verstattet. Dessen ungeachtet fand Boutigny, daß sie, wenn man einige Tropfen derselben in ein fast rothglühendes Platinschälchen schüttet, gleiche Erscheinungen, wie die anderen Flüssigkeiten darbietet. Anfangs läuft sie stark umher, dann rundet sie sich ab, steht still, opalescirt und scheint selbst zu krystallisiren. Faßt man das Schälchen mit einer Pincette und schüttet das kleine Sphäroid in die Hand, so bekommt man die Empfindung von Kälte. Boutigny glaubte anfangs, daß die schweflige Säure, während dieser Art von Stabilität, die sie zeigt, Sauerstoff aus der Luft anziehe und in Schwefelsäure übergebe; allein da sich dieses nicht als richtig erwies, so setzte er darauf voraus, die schweflige Säure erfahre eine solche Erkältung, daß sie erstarre. — Da indeß Bussy nur mittelst der außerordentlichen Kälte, welche schneeförmige Kohlensäure bei Benetzung mit Aether erzeugt, diese Erstarrung bewirken konnte, so meint Robiquet, daß die Verdunstung, obwohl geringer, als unter den gewöhnlichen Umständen, noch so viel Kälte erzeuge, daß nicht die schweflige Säure für sich, sondern ein aus dieser und der Feuchtigkeit der Luft gebildetes Hydrat gefriere.

Boutigny setzt die Hitze der Tropfen auf 96°,5 C. als constant. Als er ein Thermometer einem Wassertropfen in einem heißen Gefäße näherte, zeigte dasselbe eine Temperatur von 200° C., in dem Augenblicke aber, wo der Tropfen berührt wurde, sank es auf 96°,5. Immerhin wird aber die umgebende Hitze auch auf den Stand des Thermometers gewirkt haben.

Der Leidenfrost'sche Versuch gelingt nicht bloß mit erhitzten Metallflächen, sondern auch, wie schon N. W. Fischer *) bemerkte, mit erhitztem Glas und Porzellan. Läßt man einen Tropfen kalten Wassers auf sehr heißes Glas fallen, so springt dieses und der Versuch mißlingt. Emsmann **) gab daher folgende Anweisung. Man fülle ein nicht zu enges, mit einer Kugel versehenes Haarröhrchen mit Wasser, Spiritus oder Quecksilber, erhitze über einer Spirituslampe die Kugel und halte die Röhre schräg aufwärts. Sobald die Flüssigkeit aus der Kugel getrieben ist, fallen aus der aufrecht stehenden Röhre aus den hier condensirten Dämpfen entstandene Tropfen in die glühende Kugel zurück, und zeigen das Leidenfrost'sche Phänomen. Oefters tanzen mehrere Tröpfchen gleichzeitig, vereinigen sich aber bald zu einem Tropfen. So kann man das Phänomen mehrere Minuten hinter einander zur Erscheinung bringen, indem fortwährend, sobald ein Tropfen verdunstet ist, bald neue zurückfallen. Die Bedingung ist also, daß die Flüssigkeit nicht, wie es beim Metalle geschieht, kalt, sondern schon in höherer Temperatur befindlich auf das glühende Glas gelangt, indem sonst das Glas zersprengt wird.

Moritz ***) hat später den Versuch auch so angestellt, daß er in ein erhitztes

*) Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 163.
**) Pogg. Ann. Bd. LI. S. 444.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 112.

Uhrglas siedendes Wasser in beliebig großen Quantitäten goß. Poggendorff*) untersuchte, ob ein elektrischer Strom im Stande sei, aus dem Flüssigkeitskügelchen in das Metall oder aus diesem in jenes überzugehen. Er fand, daß stets zwischen der Flüssigkeit und dem leitenden Metall Isolation stattfände und schloß daraus, daß beide nicht in unmittelbarer Berührung sein könnten. Bestimmter suchte das Vorhandensein eines Zwischenraumes zwischen Tropfen und Platte Person **) nachzuweisen. Er sagt, er habe eine Vorrichtung erdacht, mittelst welcher man zwischen der Fläche und der Flüssigkeit hindurch sehen könne, giebt jedoch keine Beschreibung dieser Vorrichtung. Der Zwischenraum zeigte sich als ein sehr bestimmbarer Bruch von Millimetern, er nahm zu oder ab, je nachdem die Temperatur der Fläche höher oder niedriger war. Dagegen hatte Muncke ***) bei seinen Versuchen einen solchen Zwischenraum nicht wahrzunehmen vermocht. Als Grund der ganzen räthselhaften Erscheinung ist Person ebenfalls geneigt, die Kraft des Dampfes anzunehmen; er findet diese Annahme bestätigt durch die Erfahrung, daß das Phänomen bei desto niedrigeren Temperaturen stattfindet, je flüchtiger die angewendete Flüssigkeit ist. In gewissen Fällen aber, meint er, wird noch eine andere Kraft ins Spiel gesetzt. So z. B. findet die Erscheinung mit Wasser von 84° C. statt auf einer Fläche, welche selbst nicht bis zu 100° erhitzt ist. Offenbar ist in diesem Falle die Kraft des Dampfes nicht fähig, die Flüssigkeit zu tragen; diese wird dann von einem Gemenge von Luft und Dampf getragen. Die Vorgänge im Vacuo bestätigen diese Erklärung. Sobald die Flüssigkeit getrennt ist von der Fläche, ist die Trennung derselben zu abgerundeten Tropfen eine ganz einfache Folge ihrer Anziehung gegen sich selbst — alle Flüssigkeiten formiren sich zu Tropfen auf Flächen, an welche sie nicht adhäriren, z. B. Quecksilber auf Glas. Eine Hauptursache der Erscheinung ist ohne Zweifel die mit der Wärmezunahme verringerte Adhäsion der Flüssigkeiten an die festen Substanzen. Die Temperatur der Flüssigkeit, sagt Person, variirt mit der Fläche. Wirft man ein Stückchen bei 95° C. schmelzbarer Legirung in den Wassertropfen, so hat man es in seiner Macht, es zu schmelzen oder nicht, je nachdem man die Schale mehr oder weniger erhitzt. Mit sehr kleinen Thermometern fand Person 84° C. für die untere und 100° C. für die obere Grenze. Auf einer fast ganz bedeckten Schale gelangt das Wasser auf 100° C., wenn die Oberfläche fast 360° hat. Die Relation zwischen der Temperatur des Wassers und der der mit Flüssigkeit bedeckten Oberfläche ist: $\tau = t + [0,0225\,(t + 75)]^4$. Wenn nur sehr wenig Wasser vorhanden ist, kann man dessen Temperatur aus der Zeit der Verdampfung ableiten. Man hat $t = 469,6 \sqrt[6]{\frac{R}{\tau}} - 75$. R ist der Radius des Tropfens in Centimetern, τ die Zeit der Verdampfung in Secunden; hat man $\tau < 377\,R$., so ist die Temperatur wenigstens 100°.

Ist das Wasser unter 100° C. und die Fläche sehr heiß, so begreift man, daß der Dampf unter der Flüssigkeit eine Kraft von einer Atmosphäre annehmen könne. Ist z. B. das Wasser auf 95°,5 C. und die Fläche ungefähr auf 320° C.,

*) Pogg. Ann. Bd. LII. S. 539.

**) Compt. rend. S. XV. p. 492. — Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 282.

***) Gehler's phys. Wörterb. N. A. Bd. X. S. 490.

so würde dies hinreichen, dem Dampf eine Kraft von $1^1/_3$ Atmosphäre zu geben, sobald er sich nicht ausdehnen kann. Daraus folgt, daß er unter der Flüssigkeit wohl eine Kraft von 1 Atmosphäre annehmen kann. Wenn aber das Wasser 90° C. hat, so ist die Fläche beinahe in der Temperatur, auf welche der Dampf gebracht werden müßte, damit er, wäre er eingeschlossen, eine Kraft von einer Atmosphäre annehmen könnte. Da er nicht genau unter der Flüssigkeit ist, so folgt, daß bei dieser Temperatur die Dazwischenkunft der Luft durchaus nothwendig ist. Allgemein glaubt man, daß bei den Leidenfrost'schen Versuchen das Wasser nicht sieden könne; allein das ist, nach Person, ein Irrthum. Er hat sowohl in kleinen Tiegeln über der Weingeistlampe, als in großen in einer Esse das Sieden hervorgebracht, und dies Sieden läßt sich nicht verwechseln mit dem, welches man bei Berührung erlangt. Außer dem ganz andern Aussehen der Flüssigkeit ist die Zeit der Verdampfung nicht dieselbe. Für 4 Grammen z. B. findet man 75 Secunden ohne Contact und 15 Secunden mit demselben. Um das Sieden hervorzubringen, bedarf es einer desto höhern Temperatur, je kleiner die Tropfen sind; und ein Grund davon liegt sichtlich in der Anziehung der Flüssigkeit auf sich selbst, denn aus der Convexität der Oberfläche erfolgt ein desto größerer Druck, als der Krümmungshalbmesser kleiner ist. Um die Langsamkeit der Verdampfung zu erklären, setzte Rumford voraus, daß ein großer Theil der einfallenden Wärme reflectirt werde; allein nach den Versuchen von Melloni hält die Reflexion nur etwa 0,04 von der einfallenden Wärme zurück. Nach Pouillet könnte es geschehen, daß ein Theil der einfallenden Wärme durch die Flüssigkeit ginge, ohne sie zu erwärmen. Pouillet stellt übrigens diese Meinung nur als zweifelhaft auf, hinzufügend, daß der Gegenstand neue Versuche erfordere. Péclet giebt sie als sicher und versucht damit sogar, die Versuche von Klaproth zu erklären, bei denen in einem erkaltenden Gefäße die letzten Tropfen weniger lange verweilen, als die ersten; aus Melloni's Versuchen geht aber hervor, daß ein Tropfen Wasser von 2 Millim. kaum 0,06 der von einem glühenden Metalle ausstrahlenden Wärme durchläßt; für größere Tropfen ist der Wärmedurchgang fast Null. Wenn man also zu Messungen übergeht, zeigt sich, daß die aus der Transmission der Wärme gezogene Erklärung ganz unzulänglich ist. Person behauptet, daß die Verdampfung bei dem in Rede stehenden Phänomen nicht so langsam ist, als man gemeiniglich glaubt; man könne sogar sagen, daß es keinen Dampfkessel gebe, in welchem sie so rasch sei. Denkt man sich einen kleinen cubischen Tiegel von 1 Centimeter Seite und beständig gefüllt, so verdampft in der Minute ungefähr 1 Gramm Wasser, vorausgesetzt, die Verdampfung geschehe, wie im besten Dampfkessel. In demselben Gefäße wird man ohne Contact leicht eine doppelte Menge verdampfen, wenn man dahin gelangt, die Wände z. B. auf 1000° C. zu halten.

Die Physiker, sagt Person, welche sich mit der Verdampfung der Flüssigkeiten auf nicht von ihnen benäßt werdenden Flächen beschäftigt haben, sprechen nur von der strahlenden Wärme. Allein die elastischen Flüssigkeiten geben 80mal mehr Wärme, als die Strahlung bei etwa 200° C.; der Vorsprung bleibt auch jenseit der Rothgluth; erst gegen 900° C. stellt sich Gleichheit ein. Folgende zwei Versuche beweisen, daß die strahlende Wärme nur eine secundäre Rolle spielt.

1) In einer blanken und einer mit Kienruß überzogenen Silberschale geschieht die Verdampfung bei 3 oder 400° C. nahe in gleicher Zeit, obwohl die strahlende Wärme in dem einen Fall 5 bis 6 Mal größer ist, als in dem andern.

2) In einem tiefen Tiegel und in einer fast ebenen Schale, beide zur Rothgluth gebracht, die Person nicht höher als 7 bis 800° C. setzt, geschieht die Verdampfung fast in derselben Zeit, obwohl die strahlende Wärme in dem Tiegel fast doppelt so groß ist, als in der Schale.

Person weist nach, daß die Zeit, während welcher die Verdampfung beim Leidenfrost'schen Versuche geschieht, viel kürzer ist, als sie der Berechnung nach, auf Grund der Untersuchungen von Dulong und Petit, (s. d. Artikel Wärme) sein sollte, wenn man nur auf die strahlende Wärme, welche die Flüssigkeiten empfangen, Rücksicht nimmt. Person entwickelt dann folgende Formel zur Bestimmung der Dauer der Verdampfung, welche den Versuchen besser entspricht. Die Formel ist:

$$\tau = \frac{kr}{0{,}0297\ a^t\ (a^{\vartheta} - 1) + 0{,}084\ \vartheta^{\,0{,}92}}.$$

Es bezeichnet hier τ die Zeit der Verdampfung in Secunden, k die Wärme zur Verdampfung von 1 Gramm Flüssigkeit, r den Radius des Tropfens in Millimetern, t die Temperatur der Fläche, ϑ den Unterschied der Temperatur der Fläche und der Flüssigkeit, a eine constante Größe = 1,0077.

Setzt man ein Gefäß mit Flüssigkeit dem Einflusse der Hitze aus, d. h. führt man ihm immerwährend Wärme zu, so verwandelt sich so lange Flüssigkeit in Dampf, als noch ein Tropfen Flüssigkeit vorhanden ist. Gesetzt aber man habe eine bestimmte Quantität Dampf in ein Gefäß eingeschlossen, dessen Rauminhalt man nach Belieben vermehren und vermindern kann, und dessen Temperatur man gleichfalls nach Belieben erhöhen und erniedrigen kann. Der Dampf übt gegen die Wandungen des Gefäßes einen gewissen, nach allen Seiten gleichförmigen Druck aus. Gesetzt nun, die Temperatur bleibe sich gleich, der Rauminhalt des Gefäßes aber vergrößere sich mehr und mehr, dann wird der Dampf fortwährend sich ausdehnen (wird dünner), der Druck desselben gegen die Wände des Gefäßes wird immer schwächer und schwächer werden. Bleibt dagegen der Rauminhalt gleich und erhöht man fortwährend die Temperatur, so wird der Druck gegen die Wandungen des Gefäßes immer stärker und stärker. Wird gleichzeitig das Gefäß größer und die Temperatur höher, so dehnt sich der Dampf aus (wird dünner) und gleichzeitig wird sein Druck, wenn das richtige Verhältniß stattfindet, zwischen Temperaturvermehrung und Zunahme des Rauminhaltes des Gefäßes gegen dessen Seitenwände sich gleichbleiben; nimmt das Gefäß schneller zu als die Temperatur, so wird der Druck schwächer; nimmt die Temperatur schneller zu als das Gefäß, so wird der Druck stärker. Alle so eben beschriebenen Vorgänge ereignen sich in umgekehrter Ordnung, wenn man die Größe des Gefäßes und die Temperatur wieder zurück führt auf den Zustand, von welchen man ausgegangen. In der angeführten Weise verhalten sich genau auch alle Gase, wie alle Dämpfe. Gesetzt wir hätten wieder ein Gefäß mit Dampf von einer gewissen Temperatur. Bleibt nunmehr aber die Temperatur gleich und wird das Gefäß kleiner, so wird der Dampf nothwendig zusammengedrückt (wird dichter) und übt einen stärkeren Gegendruck gegen die Wände des umschließenden Gefäßes aus, bis endlich ein Theil des Dampfes als tropfbare Flüssigkeit niedergeschlagen wird, während der übrige Dampf genau dieselbe Beschaffenheit wie vorher beibehält. Ist dieser Niederschlag einmal erfolgt, so wird er bei fortwährender Verkleinerung des Gefäßes, d. h. bei

steigendem Drucke von Außen, unausgesetzt weiter und weiter erfolgen. Man sieht also: Dampf von einer bestimmten Temperatur läßt sich mehr und mehr zusammendrücken, bis er ein Maximum der Dichtigkeit erlangt hat, über welches hinaus man ihn nicht weiter durch Druck verdichten kann, vielmehr wird bei zunehmendem Drucke der Dampf dann in Gestalt von tropfbarer Flüssigkeit niedergeschlagen. Für jede Temperatur giebt es ein Maximum der Dichte, einen Zustand des Dampfes, welchen man, insofern man auf den (luftleeren oder lufterfüllten) Raum, welchen der Dampf einnimmt, sich bezieht, den Zustand der Sättigung nennt. Wir nehmen jetzt an, die Größe des Gefäßes bleibe sich gleich; die Temperatur aber nehme mehr und mehr ab. Dann wird der Dampf so lange an Druckkraft gegen die Seitenwände des Gefäßes verlieren, bei gleichbleibender Dichtigkeit, bis diejenige Temperatur erreicht ist, welcher die Dichtigkeit des Dampfes als Maximum entspricht. Bei jeder über diese Temperatur hinausgehenden Temperaturerniedrigung wird ein Theil des Dampfes als Wasser niedergeschlagen werden. Der Ueberrest des Dampfes wird dünner und dünner, und seine Dichtigkeit ist stets die des Maximums für die eben herrschende Temperatur. Nimmt gleichzeitig der Rauminhalt des Gefäßes und die Temperatur ab, so wird, sobald der Dampf das Maximum der Dichte erreicht hat, der Druck des Dampfes gegen die Wandungen des Gefäßes sich gleichbleiben, wenn die Abnahme des Gefäßes und der Temperatur in dem richtigen Verhältnisse geschieht; nimmt jedoch die Temperatur schneller ab, als die Größe des Gefäßes, so vermindert sich der Druck; nimmt die Größe des Gefäßes schneller ab, als die Temperatur, so vermehrt sich der Druck, und stets so oft das Maximum der Dichte für die herrschende Temperatur eingetreten, erfolgt bei weiterer Verkleinerung des Gefäßes wie bei weiterer Verminderung der Temperatur Niederschlag von Wasser.

Man kann nun das Verhältniß zwischen Dämpfen und Gasen näher dahin bestimmen, daß alle Dämpfe sich so lange als Gase verhalten, als sie nicht im Maximum der Dichtigkeit, im Zustande der Sättigung sich befinden, d. h. so lange ihre Temperatur höher ist als diejenige, bei welcher ihre Dichtigkeit das dieser Temperatur entsprechende Maximum der Dichtigkeit ist, und so lange der sie zusammenhaltende äußere Druck geringer ist, als um sie bis auf diejenige Dichtigkeit zusammenzupressen, welche das Maximum der Dichte bei der herrschenden Temperatur ist. Oder was dasselbe: alle Gase sind zu betrachten als Dämpfe unter dem Maximum der Dichtigkeit, nicht im Zustande der Sättigung, und die permanenten Gase sind diejenigen, bei denen es noch nicht gelungen ist, die Temperatur so weit zu erniedrigen, den äußern Druck durch Zusammenpressung so weit zu erhöhen, daß sie auf das Maximum der Dichtigkeit gebracht werden.

Es ist gesagt worden, daß der Dampf sich unter dem Einflusse der Wärme erzeugt. Wie diese Erzeugung aber vor sich gehe, ist ein noch ungelöstes Problem. Die sorgfältigste chemische Untersuchung des Wassers und des Wasserdampfes zeigt genau dieselben Bestandtheile, und so ist im Allgemeinen der Dampf einer jeden Flüssigkeit, eines jeden festen Körpers chemisch ganz dieselbe Substanz, wie diese Flüssigkeit, dieser feste Körper selbst: Eis, Wasser, Wasserdampf sind chemisch nicht unterschieden. Was zu dem Wasser hinzugekommen, wodurch es Dampf geworden, ist nichts als die Wärme. Diese aber ist keine wägbare Substanz; dennoch verhält sie sich bei dem Proceß, von welchem wir sprechen, ganz als eine solche.

Wenn sich zwei Stoffe chemisch mit einander verbinden, dann treten sie zusammen zu Constituirung eines dritten, in welchem jeder von ihnen vollkommen verschwunden ist, welcher ganz andere Eigenthümlichkeiten besitzt, als jeder der beiden Stoffe, in welchem man diese nicht mehr mit den Sinnen wieder zu erkennen vermag. Gerade so verhält es sich bei der Bildung des Wasserdampfes: das Wasser ist vollkommen verschwunden mit allen seinen Eigenschaften, und ebenso ist auch die Wärme, welche den Dampf erzeugen half, verschwunden. Wir haben schon gesehen, daß der aus einem Gefäß mit siedendem Wasser aufsteigende Dampf stets eine sich gleichbleibende Temperatur von beiläufig 100° C. besitzt. Wie groß die Hitze auch sein mag, welche man dem Gefäße zuführt, sie beschleunigt den Verdampfungsproceß wohl, aber sie bewirkt nicht, daß der sich bildende Dampf eine höhere Temperatur erlangt. Die Wärme wird also von dem Wasser absorbirt, in sich aufgenommen, verschwinden gemacht, gebunden, latent wie man sich ausdrückt, und dadurch wird das Wasser zu Dampf. Man hat gefunden, daß ebenso bei dem Uebergange aus der festen Form in die tropfbar-flüssige Wärme gebunden wird und daß umgekehrt die im Dampfe gebundene Wärme wieder frei wird (wieder am Thermometer wahrnehmbar), wenn er sich wieder in Flüssigkeit verwandelt, und daß die in der tropfbaren Flüssigkeit gebundene Wärme frei wird, wenn sie wieder zu einem festen Körper erstarrt.

Der Entdecker des wichtigen Gesetzes: daß bei jeder Veränderung des Aggregationszustandes eines Körpers eine gewisse Quantität Wärme gebunden oder frei wird, die bei verschiedenartigen Körpern verschieden ist, — war Black. Es ist nun Aufgabe der Physik, die bei der Dampfbildung der verschiedenen Körper absorbirt werdende Wärme ihrer Quantität nach zu bestimmen. Black *) schätzte (1762) die latente Wärme des Wassers nach einem Versuche, der keine Genauigkeit zuließ, auf etwa 450° C. Er stellte nämlich ein Gefäß mit Wasser von 10° C. auf ein rothglühendes Eisenblech, und beobachtete nun, daß nach 4 Minuten das Wasser zu sieden begann, nach 20 Minuten aber vollständige Verdampfung eintrat. Während der ersten 4 Minuten hatte sich also die Temperatur des Wassers um 90° gehoben, weil sein Siedepunkt bei 100° C. liegt und seine anfängliche Temperatur 10° C. war. Black schloß hieraus, daß in einer Minute die Temperatur um $^{90}/_{4} = 22^{1}/_{2}$° C. erhöht werde, und nimmt man nun an, daß in jeder Minute gleichviel Wärme absorbirt wurde, so wurden in den 20 Minuten von Beginn der Dampfbildung bis zu Vollendung derselben $22^{\circ},5 \times 20 = 450^{\circ}$ Wärme absorbirt. Diese 450° zeigte das Thermometer nicht an, sondern dieses gab nur 100°, und sie nannte Black latente Wärme. Warum dieser Versuch indeß ungenau war, ist leicht einzusehen, denn es wurde bei demselben von der unrichtigen Voraussetzung ausgegangen, daß die Wirkung des Feuers auf das mehr und mehr sich erhitzende Wasser fortwährend dieselbe sei; es wurde nicht berücksichtigt, daß die Dampfbildung schon vor Erreichung des Siedepunktes eintrete 2c. Irwin, mit welchem Black später gemeinschaftlich experimentirte, suchte die latente Wärme des Dampfes zuerst aus der Temperaturerhöhung zu bestimmen, welche Wasser erfuhr, in das sich der Dampf niederschlug. — Wenn man in dem Papin'schen

*) Black, lectures on the elem. of chemistry.

Digestor (s. d. Art.) Wasser bis zu einer Temperatur von 205° C. erhitzt, und dann plötzlich den Deckel des Digestor abhebt, so verwandelt sich augenblicklich ungefähr ein Fünftheil des Wassers in Dampf, und das zurückbleibende Wasser sinkt in demselben Augenblicke auf 100° herab. Die verschwundenen 105° müssen durch den Dampf absorbirt sein, aber nicht bloß die 105°, die er selbst vorher als Wasser mehr hatte, sondern da auch die übrigen vier Fünftheile die frühere Temperatur verloren haben, so muß die bei der Dampfbildung absorbirte Wärme im Ganzen ungefähr $5 \times 105° = 525°$ betragen. Genauere Versuche wurden von Watt*) in den Jahren 1765, 1781 und 1783, und von Southern und Creighton im Jahre 1803 angestellt. Hier wurde der Dampf durch Kälte verdichtet, indem er in Berührung mit Eis oder mit einer kalten Flüssigkeit gebracht wurde; bei der Condensation wurde die latente Wärme frei, und die Größe derselben ließ sich nun aus der Menge des geschmolzenen Eises oder der Temperaturerhöhung der kalten Flüssigkeit berechnen. Die Versuche der beiden letztgenannten wurden in der Art angestellt, daß aus einem Cylinder von bekanntem Inhalte eine bestimmte Menge Dampf von ungleicher Temperatur durch ein kupfernes Rohr in eine hölzerne Wanne mit Wasser gelassen, und aus der Erhöhung der Temperatur des Wassers die latente Wärme berechnet wurde.

Außer der latenten Wärme besitzt der Dampf noch eine freie auf das Thermometer wirkende Wärme. Nach den von Clément und Desormes**) angestellten Versuchen findet nun zwischen dieser freien Wärme des Dampfes und der latenten Wärme desselben das Verhältniß statt, daß ihre Summe jedesmal eine constante Zahl ist, d. h. daß bei jedem Drucke und bei jeder Temperatur die freie Wärme des Dampfes addirt zu der gebundenen Wärme des Dampfes eine für jede einzelne Flüssigkeit bestimmbare Zahl gebe. Watt und später Sharpe hatten schon früher dasselbe Gesetz ausgesprochen. Bei Wasser ist diese Zahl in Graden der hunderttheiligen Scale 650, und hiernach läßt sich folgende Tafel aufstellen.

Freie Wärme des Dampfes	Gesammtwärme des Dampfes	Gebund. Wärme des Dampfes
0°	650°	650°
100	650	550
200	650	450
400	650	250
600	650	50
650	650	0

Man sieht aus dieser Tafel, daß es einen Punkt der freien Wärme des Dampfes giebt, bei welchem seine latente Wärme = 0° würde, d. h. bei welcher er aufhören würde Dampf zu sein, und statt dessen sehr stark ausgedehntes Wasser wäre.

Im Gegensatze gegen das eben erwähnte Gesetz, nach welchem die Summe

*) Robison Mechan. Phil. T. II. p. 10.

**) Robison Mechan. Phil. T. II. p. 164.

der latenten und der freien Wärme für alle Temperaturen des Wasserdampfes eine constante Größe wäre, stellte Southern *) auf Grund einiger Versuche die Ansicht auf, daß der gebundene Theil der Wärme constant sei und daß man, um die gesammte Wärmemenge, welche in einem bei gegebener Temperatur gebildeten Dampfe enthalten sei, zu erhalten, dieser Temperatur eine constante Zahl hinzufügen müsse, welche die vom Dampfe bei seiner Bildung verschluckte gebundene Wärme vorstelle. Pambour **) bemerkte zu den beiden einander widersprechenden Gesetzen folgendes: Man weiß, daß, wenn eine elastische Flüssigkeit sich in einen größern Raum ausdehnt, diese Ausdehnung beständig von einer Senkung der Temperatur begleitet wird. Wenn also das erste der beiden Gesetze richtig ist, so folgt, daß der einmal unter einem gewissen Drucke gebildete Dampf, wenn man ihn von der Flüssigkeit sondert und ihm nur nicht durch ein äußeres Agens irgend einen Theil seiner ursprünglichen Wärme entzieht, sich in immer größere Räume ausdehnen und dabei zu immer niedrigern Temperaturen herabgehen kann, ohne deshalb aufzuhören, für seine jedesmalige Temperatur auf dem Maximo der Dichtigkeit zu bleiben. Da wir nämlich voraussetzen, daß der Dampf materiell keinen Theil seiner gesammten Wärmemenge verloren hat, so folgt, daß er immer genau diejenige enthält, deren er bedarf, um bei seiner neuen Temperatur so gut wie bei seiner frühern auf dem Maximo der Dichtigkeit zu bleiben. — Ist dagegen das Southern'sche Gesetz richtig, so wird der Dampf, wenn man ihn, von dem erzeugenden Wasser getrennt, durch Ausdehnung in immer größere Räume an Dichtigkeit schwächt, nicht mehr für seine neue Temperatur auf dem Maximo von Dichtigkeit bleiben. Er wird mehr Wärme erhalten, als seinem neuen Maximo von Dichtigkeit zukommt, der Ueberschuß an Wärme wird frei werden, und da der Dampf von seiner Flüssigkeit getrennt ist, so kann dieser Wärmeanwuchs zwar nicht die Dichtigkeit des Dampfes erhöhen, aber er macht sich ganz fühlbar in der Temperatur. — Durch eine Reihe sehr zahlreicher Versuche hat nun Pambour gefunden, daß in einer Dampfmaschine, in welcher Dampf unter sehr hohem Drucke gebildet und vor äußerer Erkaltung vollkommen geschützt wurde, dieser immer genau in dem seiner Temperatur entsprechenden Maximo von Dichtigkeit austrat, obwohl dies unter sehr niedrigen und sehr verschiedenen Drucken geschah. Das Southern'sche Gesetz ist also unzulässig, wenigstens wenn man nicht annehmen will, daß der Dampf bei diesen starken Druckveränderungen durch den Contact mit denselben äußeren Flächen immer genau die bald große, bald geringe Wärmemenge verloren habe, um welche seine Temperatur hätte wachsen müssen.

Pambour nahm auf Grund seiner Versuche an, daß die Summe der freien und der latenten Wärme 650° C. vom Gefrierpunkte an gerechnet betrage.

Nimmt man 550° als Ausdruck der Verdampfungswärme des Wassers an, so kann man folgende Tabelle aufstellen, um die großen Differenzen zu übersehen, welche sich aus den entgegengesetzten Annahmen von Southern und Clément-Desormes ergeben.

*) Robison, Mechan. Phil. T. II. p. 160.

**) De Pambour, traité theor. et pract. des machines locomot. Edit. 2. — Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 587.

Temperatur der Verdampfung	Gesammt-Wärme des Dampfes		Verdampfungswärme	
	nach Southern	nach Clément	nach Southern	nach Clément
0°	550°	650°	550°	650°
100	650	650	550	550
200	750	650	550	450
400	950	650	550	250
600	1150	650	550	50
650	1250	650	550	0

Bataille *) macht darauf aufmerksam, daß bei den am häufigsten in der Natur und in der Technik vorkommenden Temperaturen (bis zu 150°) die Resultate aus den beiden Annahmen nur sehr wenig von einander abweichen. Es wird also auch auf die Praxis von nur geringem Einflusse sein, welche man als die richtige annimmt. Um einen Rechnungsausdruck zu erhalten für die verschiedenen Wärmequantitäten, welche in einem gegebenen Gewichte Dampf bei einer bestimmten Temperatur enthalten sind, kann man nach dem Vorgange französischer Physiker eine Wärme-Einheit nach der Analogie des metrischen Systems einführen. Man bezeichnet nämlich als Calorie die Quantität Wärme, welche nöthig ist, um die Temperatur von 1 Kilogramme Wasser um 1 Centigrad zu erhöhen. Hiernach kann man nun in Calorien die Quantität Wärme ausdrücken, welche bei der Erzeugung eines bestimmten Gewichtes Dampf verbraucht wird, wenn Spannung und Temperatur gegeben sind. Nach der Annahme von Southern wird die Anzahl der Calorien, welche in einem Gewichte P eines Dampfes von der Temperatur t° enthalten sind, P (550 + t) betragen; nach Clément-Désormes wird dieselbe Anzahl durch 650 P gegeben. Für den Fall, wo t = 100°, geben beide Ausdrücke denselben Werth; für den Fall, wo t = 172°, beträgt der Unterschied beider Angaben ungefähr $^1/_9$ (eine Temperatur, welcher ein Druck von 8 Atmosphären entspricht). — S. d. Folg.

Bataille führt aber an, daß sowohl Dulong als auch Despretz sich überzeugt hatten, daß beide Annahmen, von denen wir gesprochen, nicht ganz genau seien, und zu demselben Resultate sei auch Regnault durch seine sehr sorgfältigen Untersuchungen gelangt. Um die Verdampfungswärme des Wassers bei verschiedenen Drucken zu bestimmen, hat Regnault drei Reihen von Versuchen angestellt: erstens unter dem gewöhnlichen atmosphärischen Druck, zweitens unter höheren Drucken zwischen 1 bis 15 Atmosphären, und drittens unter niedrigeren Drucken von 22 bis 64 Hunderttheil Atmosphären. Die 44 Versuche der ersten Reihe bestimmen die Verdampfungswärme des Wassers zu 536,67. Durch die zweite und dritte Versuchsreihe wird das Gesetz von Watt und Clément-Désormes, sowie das von Southern widerlegt. Diese Versuche beweisen, daß die gesammte Wärme (die latente und die freie) des Dampfes mit den Drucken zunehmen. Um das empirische Gesetz aufzustellen, welches diese Zunahme der

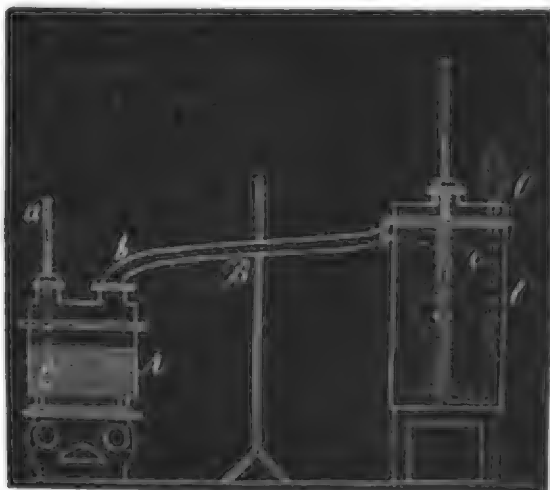
*) Traité des Machines a Vapeur. I. Sect. par E. M. Bataille. Paris, 1847 — 1849. p. 82.

Wärme mit dem Drucke ausdrückt, muß man wissen: erstens nach welchem Gesetze die Wärmecapacität des Wassers mit der Temperatur sich ändert, zweitens nach welchem Gesetze die Dichtigkeiten des Dampfes im Maximum unter den verschiedenen Drucken sich bestimmen. Ueber beide Gegenstände hat Regnault Untersuchungen angestellt. Bisher hatten die Physiker allgemein angenommen, daß die specifische Wärme des Wassers, d. h. die Quantität Wärme, durch deren Absorption 1 Kilogramm Wasser um 1° in seiner Temperatur gehoben wird, für alle Temperaturen eine constante Größe sei. Regnault hat durch Versuche nachgewiesen, daß diese Annahme nicht genau richtig sei, obschon man sie ohne einen großen Irrthum zu begehen, in den meisten Fällen anwenden kann. Die specifische Wärme des Wassers steigt nämlich mit der Temperatur, jedoch ist diese Zunahme eine sehr langsame. Bezeichnet man diese Quantität zwischen 0° bis 30° mit 1000, so wird sie zwischen 30° bis 120° 1005, zwischen 30° bis 150° 1013.

Nach der Feststellung von Regnault über die latente Wärme des Dampfes, an welche man jedenfalls jetzt sich zu halten hat, bestimmt sich die Quantität des Wärmestoffes (die Anzahl der Calorien), welche in einem Gewicht P Dampf von t° Temperatur enthalten ist nach dem Southern'schen Gesetze $= P (t + 537)$, nach dem Watt'schen Gesetz: $= 637$ P.

Was nun die Versuche über latente Wärme selbst anbetrifft, so bediente sich zu denselben Rumford *) seines Calorimeters (s. d. Art.). Der Dampf wurde in die Schlangenröhre des Calorimeters geleitet. Um nicht durch Wärmestrahlung des Recipienten an die äußere Luft Wärme zu verlieren, wurde das Wasser im Calorimeter stets von einer Temperatur genommen, die 2 bis 3 Grad niedriger, als die umgebende Luft war, und wenn das Thermometer des Calorimeters eine Zunahme der Temperatur von 5 bis 6 Grad anzeigte, so wurde der Versuch beendet. Auf diese Weise fand Rumford die latente Wärme des Dampfes im Mittel 576° C.

Aehnlich ist der Apparat, dessen sich Despretz **) bediente: A ist ein zum Theil mit Wasser gefülltes Gefäß, in welches das Thermometer a und die Röhre b luftdicht befestigt sind. Das Gefäß steht über einem Feuerheerde, so daß das Wasser in ihm erhitzt und in Dampf verwandelt werden kann. Die Röhre b geht nach dem Gefäße c in die aus dünnem Kupfer gemachte schlangenförmige Röhre c die bei O mündet, damit die in ihr enthaltene Luft getrieben durch den sich in A entwickelnden Dampf ausgetrieben werden kann. Im Gefäße C befindet sich Wasser von bekannter Temperatur. Indem nun der Dampf in der Schlangenröhre condensirt wird, theilt er die ihm eigene Wärme dem Wasser in C



*) Biot, traité de phys T. IV. p. 712.
**) Traité elem. de phys. Paris 1825. p. 95 und Annales de chym. et phys. T. XXIV.

mit; diese Temperaturerhöhung wird durch das Thermometer angezeigt. B ist ein Schirm von Holz, welcher dazu dient, den directen Einfluß der Hitze bei A von dem Gefäße C abzuhalten. Die Art, wie hier die Berechnung angestellt wird, ist nun folgende: Die zu erforschende latente Wärme des Dampfes heiße x, die Temperatur des Dampfes sei t, die Masse desselben m, die Temperatur des Gefäßes C und des in ihm befindlichen Wassers, wie sie vor dem Versuche ist, heiße T; die Masse des Kühlwassers mit Einschluß des Gefäßes sei M und endlich die Temperatur von C nach der Condensation des Dampfes sei T'. Dann ist die Wärmequantität in C vor dem Versuche = MT, nach dem Versuche aber = MT', also ist die durch die Condensation des Dampfes hinzugekommene Wärmequantität = MT' — MT. Die Quantität der latenten Wärme des Dampfes ist = mx, und die Quantität der freien Wärme des Dampfes = mt, die ganze Quantität der Wärme des Dampfes demnach = mx + mt. Diese ist es, welche die Temperaturerhöhung in C bei der Condensation des Dampfes bewirkt. Durch die Condensation ist aber die Masse m des Dampfes in C getreten, diese hat jetzt auch die Temperatur T', also ist mT' die Wärmequantität derselben, welche noch zu MT' hinzu kommt. Darnach hat man nun

$$mx + mt = MT' - MT + mT', \text{ also}$$

$$x = \frac{M(T' - T) - m(t - T')}{m}$$

als Formel, nach der die latente Wärme aus dem Versuche bestimmt wird.

Diese Methode der Untersuchung bei dieser und den ähnlichen Beobachtungen bezeichnet man als die Mengungsmethode.

Mit einem noch einfacheren Apparate stellte Ure *) seine ziemlich oberflächlichen Untersuchungen über die von verschiedenen Körpern bei der Dampfbildung absorbirte Wärme an. Er bediente sich einer kleinen gläsernen Retorte mit kurzem Halse, die er in einer Kugel von dünnem Glase, als Recipienten, befestigte. Dieser Recipient war mit kaltem Wasser umgeben, in die Retorte wurde ein kleiner Theil der zu verdampfenden Flüssigkeit gebracht, und mittelst einer argandschen Lampe als Dampf in den Recipienten übergetrieben, dort wurde der Dampf durch die Kälte condensirt, und dadurch die Temperatur des ihn umgebenden Gefäßes erhöht. Aus dem Grade dieser Temperaturerhöhung wurde dann die vom Dampfe vorher absorbirte und dann freigelassene Wärmemenge berechnet. Hierbei war die Temperatur der Luft 7° C., die des Wassers, welches den Recipienten umgab, 5° bis 6°, und der durch die Condensation des Dampfes bewirkte Zuwachs der Temperatur überstieg die der Luft niemals um mehr als 2°. Da die Wärmemittheilung bei Körpern, deren Temperatur wenig verschieden ist, nur sehr langsam ist, so konnte die Luft bei der kurzen Dauer des Versuches (von 5 oder 6 Minuten) keinen merklichen Einfluß auf das Wasser, welches den Recipienten umgab, ausüben. Ure fand bei einer mehrfachen Wiederholung seiner Versuche eine große Uebereinstimmung der Resultate, deren Mittel folgende Tabelle zusammenstellt.

---

*) Philos. Transact. 1828. T. II. p. 386.

Flüssigkeiten	Specif. Schwere	Temperatur des Wassers in dem Recipienten			Siedepunkt	Wärme zur Dampfbildung
		zu Anfang	zu Ende	Zuwachs		
Wasser . . .	1,000	5°,8 C.	9°,4	3°,6	100°	521°,4
Weingeist . .	0,825	5,5	6,61	1,11	80	236
Schwefeläther .	0,7	5,5	6,6	1,1	44,4	168
Terpentinöl . .	0,888	5,5	6,4	0,9	158	81
Steinöl . . .	0,75	5,8	6,6	0,8	152	83,3
Salpetersäure .	1,494	5,5	7,5	2,	74	287,2
Flüss. Ammoniak	0,978	5,5	8,6	3,1	60	466,6
Essigsäure . .	1,007	5,8	9,2	3,4		483,3

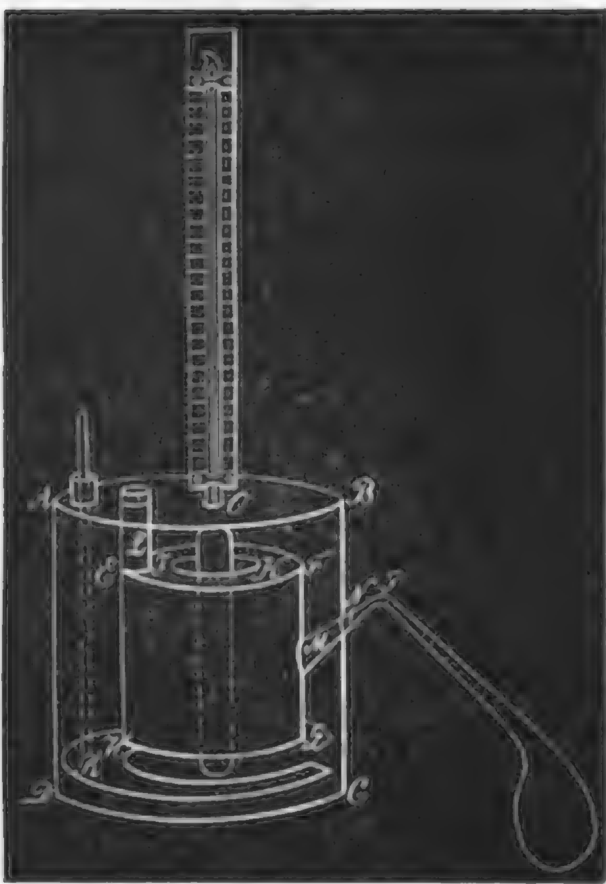
Tredgold corrigirt diese Tabelle noch in Bezug auf den Verlust an Wärme während der Operation und auf den in der Retorte zurückbleibenden Dampf, und giebt hiernach folgende Tabelle.

Nöthige Wärme zu Bildung des Dampfes	bei gleichem Gewicht	bei gleichem Volumen
Wasser	557°,4	557°,4
Weingeist	253	208,3
Schwefeläther . . .	178	126,1
Terpentinöl . . .	89,4	79,4
Steinöl	81,6	69
Salpetersäure . . .	306,6	461
Flüss. Ammoniak . .	497,2	486
Essigsäure	516,6	520

Sehr sorgfältige Versuche, unter strenger Berücksichtigung aller Fehlerquellen der anzuwendenden Apparate, hat Brix *) über die latente Wärme verschiedener Flüssigkeiten bei deren Siedetemperatur angestellt. Den von ihm benutzten Apparat beschreibt er, wie folgt:

Eine Abbildung dieses Apparates giebt die umstehende Figur. Als Kühlfaß diente eine cylindrische Büchse ABCD, deren Basis etwa 3 Zoll im Durchmesser hatte und deren Höhe eben so viel betrug. Das Schlangenrohr des Despretz-schen Apparates hatte Brix gegen die Vorlage EFGHIK vertauscht, welche in einem aufrechtstehenden hohlen Cylinder mit doppelten Seitenwänden bestand. Der Raum zwischen diesen Wänden war nicht geschlossen; sondern außer der Röhre M, durch welche die Dämpfe in denselben eintraten, führte noch eine zweite Röhre L, welche der von der Hitze verdrängten Luft den Austritt erlaubte, aus dem obern Theile dieser Vorlage durch den Deckel des Kühlfasses senkrecht in die Höhe. Diese Vorlage wurde mit einer bekannten Menge Wassers umgeben, und um die Tempe-

*) Pogg. Ann. Bd. LV. S. 341. Brix hat alle nöthigen Correcturen sehr genau bestimmt und sie an seinen Beobachtungsresultaten angebracht.



raturänderungen desselben beobachten zu können, durch die Oeffnung des Deckels O ein Thermometer hineingesenkt, so daß dessen cylinderförmiges Quecksilberbehältniß in der innern Höhlung der Vorlage sich befand. In dem Raume zwischen der Vorlage und dem äußern Gefäße befand sich eine horizontale Metallscheibe R, die an einem senkrecht dagegen gelötheten Drahte sich selbst parallel auf und ab bewegt werden konnte und die so ausgeschnitten war, daß sie bei dieser Bewegung nirgend anstieß. Der aus dem Apparate herausragende kleine Theil der Röhre M war aus etwas dickerem Metall gearbeitet, so daß ein auf dem vordern Theil des hakenförmigen Glasrohrs befestigter Ring darin eingeschlossen werden konnte. Das andere Ende dieses Glasrohrs war unmittelbar an dem Halse der Retorte festgeschmolzen. Uebrigens war dieselbe so klein und leicht, daß sie keiner weitern Unterstützung bedurfte, sondern nur von dem in N eingeschliffenen Ringe getragen wurde.

Mit diesem Apparate untersuchte Brix die latente Wärme bei Alkohol, Schwefeläther, Terpentinöl und Citronenöl.

Bei den Versuchen ruhte der Apparat auf drei hölzernen Füßchen, welche ihn nur in wenig Punkten berührten; und gegen die vom Beobachter, sowie von der kleinen Spirituslampe, durch welche die Flüssigkeit in der kleinen Retorte erhitzt wurde, ausstrahlende Wärme wurde derselbe durch mehrere von Holz und Pappe verfertigte Schirme geschützt. Die übergegangene Flüssigkeit selbst wurde nicht gewogen, vielmehr bestimmte Brix den Gewichtsverlust, den die Flüssigkeit in der Retorte während des Experimentes erlitten hatte, nachdem Sorge getragen worden, die beim Schlusse des Versuches in dem vordern Theil des Retortenhalses bis zur Biegung P befindlichen Tropfen zu entfernen. Während der ganzen Dauer des Experimentes wurde die Scheibe auf und ab bewegt. Wenn die Flüssigkeit in der Retorte zu sieden und der Dampf überzugehen begann, was an den Beschlagen des Retortenhalses ziemlich sicher erkannt werden konnte, wurde der Stand des Thermometers t_0 und die Zeit der Beobachtung aufgezeichnet. Zu Ende des Versuches, wenn die Lampe bereits entfernt und das fernere Zuströmen von Dämpfen durch Kühlhalten des Retortenhalses verhindert wurde, stieg die Temperatur des Kühlwassers noch eine kleine Weile und fing erst dann zu sinken an. Dieses Maximum τ_1 und die Zeit, zu der es eintrat, wurden ebenfalls aufgezeichnet. In der Zwischenzeit zwischen diesen beiden Beobachtungen, welche meistens 2 bis 5 Minuten betrug, wurde der Stand des Thermometers von Minute zu Minute abgelesen, wo

sich dann bei allen Versuchen übereinstimmend ergab, daß mit Ausnahme der Zeit zwischen Wegnahme der Lampe und dem Eintritt des Maximums, sowie einer kleinen Zeit zu Anfange des Versuches, in der die Dämpfe noch nicht regelmäßig zuströmten, die Erwärmung des Wassers der Zeit fast genau proportional geschah. — Vor dem Versuche wurde, da der Apparat nicht aus einander genommen werden konnte, eine dem Volumen nach bekannte Wassermenge durch O hineingegossen und diese Oeffnung dann durch Einsenken des Thermometers verschlossen. Als Maß bediente sich Brix eines kleinen Glasgefäßes, dessen Capacität er bei der mittlern Temperatur des Beobachtungszimmers von 12° C. genau bestimmt hatte. Fand sich beim Einsetzen des Thermometers, daß das eingefüllte Wasser eine andere Temperatur als 12° C. besessen habe, so wurde an dem Gewichte desselben die nöthige Correction mit Hülfe der Hallström'schen Tafeln über die Dichte des Wassers angebracht.

Die Resultate der Untersuchungen von Despretz und Brix sind in folgender Tabelle *) zusammengestellt.

Nach Despretz. (Ann. de Chim. et de Phys. T. XXIV. p. 323.)

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
	Als Flüssigkeit			Dampf			
				Gesmt.	Gebd.	Gesmt.	Gebd.
				Wärme (auf Wasser bezogen)		Wärme (auf d. eig. Flüss. bezogen)	
	Dichtigkeit	Spec. W.	Siedepunkt				
Wasser . . .	1,000	1,000	100° C.	640	540	640	540**)
Alkohol . .	0,793 b. 10°,5 C.	0,622	78,7	255,5	207,7	410,7	331,9
Aether . . .	0,715	0,520	35,5	109,3	90,8	210	174,5
Terpentinöl .	0,872	0,462	156,8	149,2	76,8	323	166,2

Nach Brix. (Pogg. Ann. der Physik und Chemie. Bd. LV. S. 341.)

Wasser . . .	1,000	1,000	100° C.	640	540	640	540
Alkohol . .	0,798 b. 14°,6 C.	0,6	78,4	258,0	211	430,0	351,7
Aether . . .	0,726 b. 14,4	0,55	34,9	109,2	90	198,6	163,6
Terpentin . .	0,867 b. 14,0	0,41	158,7	142,9	77,8	348,5	189,8
Citronenöl .	0,852 b. 14,6	0,45	176,1	159,0	79,8	353,3	177,8
Steinöl . .					76,3		

Die vier ersten Columnen bedürfen keiner Erläuterung. Die sechste enthält die eigentlichen Resultate der Versuche, nämlich die gebundene Wärme λ der untersuchten Dämpfe. Es sind die Gewichtsmengen Wasser, welche um einen Grad der hunderttheiligen Thermometerscala in ihrer Temperatur erhöht werden, wenn sie die Wärme aufnehmen, welche die Gewichtsmenge Eins von einem der genannten Dämpfe, während seines Uebergangs aus dem gasigen in den flüchtigen Zustand

*) Handwörterb. der Chemie von Liebig rc. Bd. II. S. 431.

**) Die Zahlen 540 und 640 sind das Resultat späterer Versuche, die Despretz in seinem Traité éd. 2 me p. 114 beiläufig erwähnt; bei den früheren fand er sie respective 631 und 531.

bei der in Columne IV. angegebenen Temperatur, d. h. beim Siedepunkte der Flüssigkeit verliert. Die fünfte Columne giebt, ebenso ausgedrückt, die in demselben Gewicht Dampf enthaltene gesammelte Wärmemenge; ihre Zahlen entstehen aus denen der sechsten durch Addition der der vierten, d. h. der Siedetemperaturen, nachdem man diese mit den entsprechenden specifischen Wärmen der Flüssigkeiten (Col. III.) multiplicirt hat. Die Zahlen der Columne VII. und VIII. sind denen der fünften und sechsten analog, nur daß darin die gesammte und die gebundene Wärme ausgedrückt sind durch die Gewichtsmengen, welche sie von der eigenen, den Dampf liefernden Flüssigkeit um einen hunderttheiligen Grad erwärmen würden. Diese Zahlen entspringen aus denen der vorhergehenden Columnen durch Division mit den specifischen Wärmen der Flüssigkeiten. — So wird, nach Brix, ein Pfund Dampf von Alkohol, der bei 78°,4 C. siedet, bei dieser Temperatur so viel Wärme enthalten, als nöthig ist, um 258 Pfund Wasser oder 430 Pfund desselben Alkohols um 1° C. zu erwärmen, und wenn er bei derselben Temperatur in flüssigen Alkohol übergeht, wird er, ohne seine Temperatur zu ändern, so viel Wärme verlieren, als erfordert wird, um die Temperatur von 211 Pfund Wasser oder 351,7 Pfund Alkohol um 1° C. zu erhöhen.

Die neuesten hierher gehörigen Untersuchungen sind die von Person *), welcher die Verdampfungswärme von Brom, Jod, Schwefel, Quecksilber, schwefliger Säure, wasserfreier Schwefelsäure, Schwefelsäure mit 1 At. Wasser, Schwefelkohlenstoff, Chlorwasserstoffäther und Holzgeist zu bestimmen unternahm. Die Resultate, zu denen er gelangte, sind Folgende:

Schweflige Säure	95,0
Chlorwasserstoffäther	95,3
Schwefeläther	90,8
Brom	97,0
Wasserfreie Schwefelsäure	100,0
Schwefelkohlenstoff	105,0
Holzgeist	291,7
Alkohol	207,7
Wasser	543,0
Terpentinöl	76,8
Jod	84,0
Schwefel	120,0
Schwefelsäure mit 1 At. Wasser	122,0
Quecksilber	62,0

Ueber das von ihm angewandte Verfahren (welches im Allgemeinen mehr geistreich als zuverlässig erscheint) sagt Person Folgendes.

Für die schweflige Säure und den Chlorwasserstoffäther wurde die Mengungsmethode angewandt. Ein Glaskügelchen, versehen mit zwei gekrümmten und ausgezogenen Röhren wurde zur Hälfte mit der Flüssigkeit gefüllt, dann vor der Lampe zugeschmolzen und in ein bekanntes Gewicht Wasser getaucht, bis das Temperatur-Gleichgewicht hergestellt war. Nun öffnete man es, worauf die Verdampfung erfolgte, anfangs vermöge der Wärme, welche die Flüssigkeit über ihrem Siede-

*) Compt. rend. T. XVII. p. 495. — Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 426.

punkte hatte, und alsdann durch die Wärme, welche das Wasser lieferte. Bei Kenntniß der specifischen Wärme läßt sich dann die Verdampfungswärme bestimmen. — Für die übrigen acht Substanzen wurde ein neues Verfahren angewandt. Man weiß, daß flüchtige Flüssigkeiten, auf eine hinreichend heiße Fläche geschüttet, dieselbe nicht berühren, sondern von ihrem eigenen Dampf in der Luft getragen werden. Der Leidenfrost'sche Versuch (s. oben S. 49). — Eine von Person entwickelte Formel giebt dann die Dauer der Verdampfung, wenn man die Verdampfungswärme kennt und so umgekehrt. Unter diesen Umständen wird die Wärme fast ausschließlich der Flüssigkeit durch die sie tragende Dampfschicht zugeführt; wenn diese Schicht sehr dünn ist, haben die Unterschiede in der Natur der Flüssigkeit keinen merklichen Einfluß und deshalb gilt die Formel gleich gut für Wasser, Aether, Alkohol, Terpentinöl und also auch andere Flüssigkeiten. Die Dampfschicht ist hinlänglich dünn, wenn die Temperatur der Fläche nicht über 100° bis 150° höher ist, als der Siedepunkt der Flüssigkeit. Das Verfahren kommt darauf zurück: Eine kleine Schale von Silber oder Platin wird an drei Drähten über einer gewöhnlichen Oellampe aufgehängt. Für schwere und wenig flüchtige Flüssigkeiten, wie Schwefelsäure ist diese Wärme hinreichend, damit sie von ihrem Dampfe getragen werden. Man tröpfelt ein bekanntes Gewicht der Flüssigkeit darauf, notirt die Dauer der Verdampfung und nimmt dann die Temperatur der Schale durch Eintauchung oder auf andere Weise. Zur Erlangung der Verdampfungswärme hat man dann die Formel

$$k = 0{,}02687 \left(\frac{1+\delta}{D}\right)^{2/3} \tau \left(\frac{c+c'}{p^{1/2}}\right).$$

Darin ist k die Verdampfungswärme, D das specifische Gewicht der Flüssigkeit, δ die Ausdehnung derselben bis zum Siedepunkte, p das Gewicht in Grammen, τ die Dauer (der Verdampfung) in Secunden, $c = m\, a^t (\alpha^\vartheta - 1)$, t der Siedepunkt $t + \vartheta$ die Temperatur der Schale, $a = 1{,}0077$, $m = 0{,}1$ für eine ebene Schale, $= 0{,}2$ für einen tiefen Tiegel, so lange man nicht 300° oder 400° C. überschreitet, $c' = 0{,}48\ \vartheta^{0,92}$. Gewisse Flüssigkeiten erfordern eine Abänderung am Verfahren. So die sehr flüchtigen Flüssigkeiten; da sie nur einer wenig erhöhten Temperatur bedürfen, so erhält man diese auf eine festere Weise, wenn man mit einem Tiegel arbeitet und diesen in eine siedende Salzlösung taucht. Beim Quecksilber muß man einen Tiegel über einer Lampe mit doppeltem Luftzuge rothglühend machen; eine Temperatur von 100° bis 150° über dem Siedepunkt reicht nicht hin, daß eine so dichte Flüssigkeit, wie diese von ihrem Dampfe getragen werde. Beim Schwefel würde die Dauer der Tropfen vermöge ihrer Verbrennung in der Luft fast auf nichts reducirt werden; es wurde daher eine Atmosphäre von Kohlensäure angewandt.

Man suchte natürlich, ob in den erhaltenen Resultaten ein Gesetz vorhanden sei, und ein solches giebt es sogleich ganz einleuchtend, nämlich dies: daß die Verdampfungswärmen der Atome genau in der Ordnung der Siedepunkte stehen.

„Bekanntlich, fährt Person fort, existirt diese Relation nicht, wenn man gleiche Gewichte betrachtet. Es giebt dann keine Ordnung; die Substanzen, die bei den höchsten Temperaturen verdampfen, sind keineswegs die, welche die meiste Wärme verlangen. Das Terpentinöl z. B., das erst bei 157° C. siedet, erfordert

sieben Mal weniger Wärme, als das Wasser, welches bei 100° siedet. Wenn man aber gleiche Atomgewichte nimmt, stellt sich eine vollkommen regelmäßige Ordnung her. Man hätte dies schon an den vier zuvor bekannten Substanzen sehen können, allein deren wären doch zu wenig zum Verallgemeinern. Jetzt ist dies erlaubt, da man vierzehn Substanzen hat und darunter sowohl einfache als zusammengesetzte, sowohl organische als unorganische. Wenn demnach eine Substanz bei einer höhern Temperatur siedet als eine andere, so kann man gegenwärtig behaupten, daß die zu ihrer Verdampfung nöthige Wärme größer ist, wie übrigens auch ihre chemische Zusammensetzung beschaffen sein mag. Siedet sie bei derselben Temperatur, so ist auch ihre Verdampfungswärme dieselbe. Man sieht dies z. B. am Brom, an der wasserfreien Schwefelsäure und am Schwefelkohlenstoff, die alle drei bei 46° C. gasförmig sind. Ein anderes Beispiel für hohe Temperaturen geben Quecksilber und Schwefelsäure. — Wenn gegeben sind: Das Atomgewicht einer Substanz und deren Siedepunkt von 10° unter Null bis 350 darüber, sei es durch Interpolation oder durch Construction, so kann man gegenwärtig die Verdampfungswärme finden; oder allgemeiner, wenn von den drei Elementen: Siedepunkt, Atomgewicht und Verdampfungswärme zwei gegeben sind, so läßt sich das dritte bestimmen."

Die Bestätigung des von ihm aufgestellten Gesetzes, daß die latente Verdampfungswärme gleich sei für Substanzen, die bei gleicher Temperatur sieden, und daß sie bei den übrigen sich nach den Siedepunkten richte, findet Person in einer Reihe von Beobachtungen, welche Favre und Silbermann an einer Anzahl von Flüssigkeiten gemacht haben. Zwar stellen sich eine Anzahl scheinbarer Ausnahmen von jenem Gesetze dar, die aber Person jedoch zu erklären sucht, und so kommt er auf die Behauptung zurück, daß die Wärme, welche erfordert wird, um die verschiedenen Substanzen unter gleichem Drucke zu verdampfen, gleich ist, wenn das erzeugte Volumen gleich ist, und kleiner oder größer ist, je nachdem das erzeugte Volumen kleiner oder größer ist.

Die Resultate der Untersuchungen von Favre und Silbermann sind von Person *) in folgender Tabelle zusammengestellt, indem er die latenten Wärmen auf Atomgewichte, bestehend wie beim Wasser aus zwei Volumen, bezogen hat.

Substanzen	Zusammensetzung	Siedepunkt	Latente Wärme	
			Atomgewicht	Gewichtseinheit
Aether	$C_4\ H_5\ O$	35°,6 C.	421,3	91,1
Holzgeist	$C\ H_2\ O$	66,5	527,7	263,8
Essigäther	$C_4\ H_4\ O_2$	74,0	582,0	105,8
Alkohol	$C_2\ H_3\ O$	78,4	598,8	208,3
Buttersaures Methylen	$C_3\ H_5\ O_2$	93,0 ?	556,5	87,3
Wasser.	$H\ O$	100,	603,0	536,0
Ameisensäure . . .	$C_2\ H_2\ O_4$	100,0	694,0	120,7
Baldrianäther . .	$C_{10}\ H_{11}\ O$	113,0	685,0	69,4
Essigsäure	$C_2\ H_2\ O_2$	120,0	382,0	101,9

*) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 386. — Compt. rend. T. XXIII. p. 524.

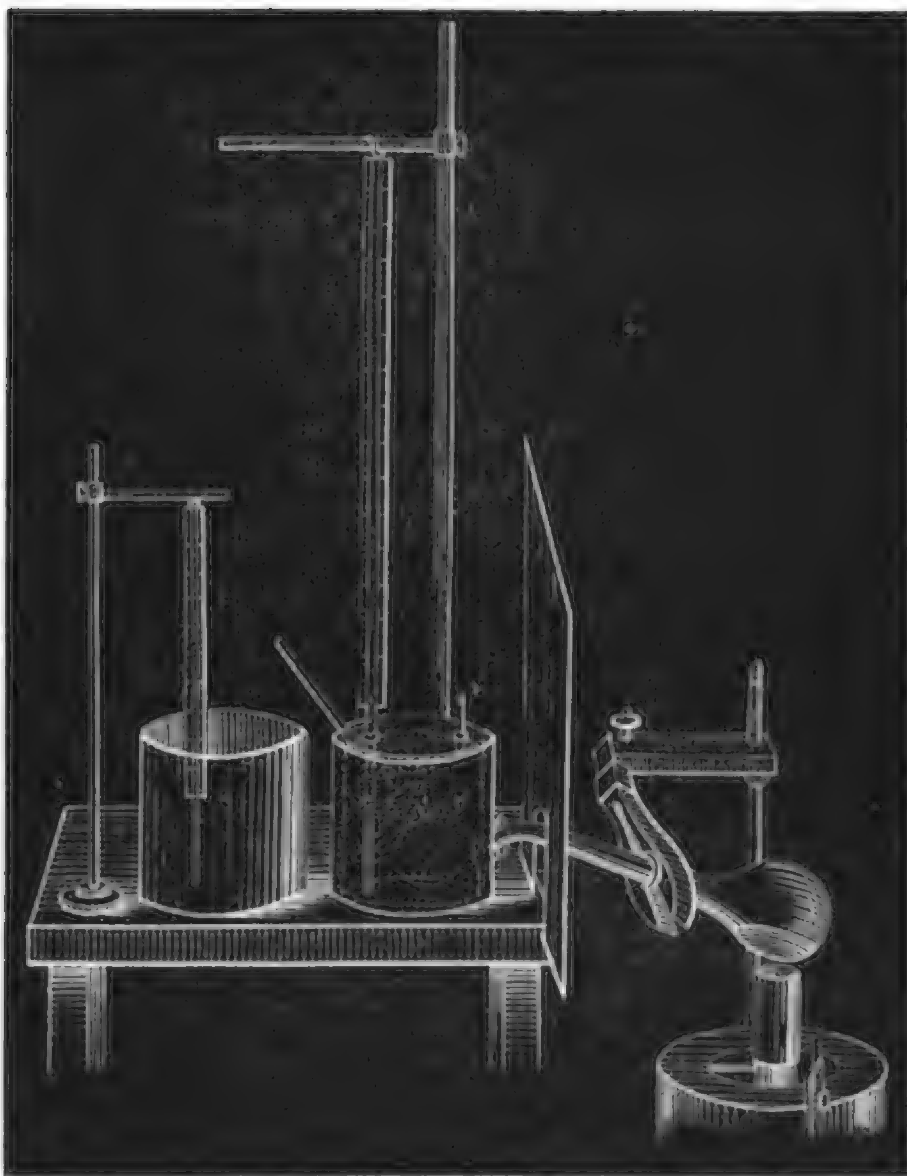
Substanzen	Zusammen-setzung	Siedepunkt	Latente Wärme	
			Atomge-wicht	Gewichts-einheit
Baldrianalkohol . .	$C_5\ H_6\ O$	132°,0 C.	606,8	121,4
Terpentinöl . . .	$C_{20}\ H_{16}$	156,0	584,0	68,7
Tereben	$C_{20}\ H_{16}$	156,0	571,0	67,2
Citronenöl . . .	$C_{20}\ H_{16}$	165,0	595,0	70,0
Buttersäure . . .	$C_4\ H_4\ O_2$	164,0	632,0	114,9
Baldriansäure. . .	$C_5\ H_5\ O_2$	175,0	660,0	103,5
Kohlenwasserstoff . .	$C_{12}\ H_{12}$	198,0	629,0	59,9
" " . .	$C_{15}\ H_{15}$	255,0	783,0	59,7
Aethalalkohol . . .	$C_{16}\ H_{17}\ O$	360,0?	884,0	58,4

Die neuesten hierher gehörigen Untersuchungen sind die von Thomas Andrews *), welcher die latenten Wärmen einer Anzahl in ihrer chemischen Zusammensetzung weit von einander abweichender Körper zu bestimmen suchte, hauptsächlich um zu ermitteln, ob zwischen der latenten Wärme und den übrigen physikalischen Eigenschaften der Dämpfe irgend eine feste Beziehung vorhanden sei. Die Versuche von Favre und Silbermann, bemerkt er, umfaßten nur Verbindungen von Sauerstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff. Durch Anwendung eines sehr zarten Glasapparates war Andrews im Stande, die Untersuchung auf eine einfache Substanz und eine kleine Zahl unorganischer Verbindungen auszudehnen. Den von ihm angewandten Apparat beschreibt Andrews, wie folgt.

Die in Dampf zu verwandelnde Flüssigkeit befindet sich in einem Glaskölbchen, dessen Hals eine sehr kurze Biegung hat, wie aus der umstehenden Figur zu ersehen. In diesen ist, mittelst einen kleinen Pfropfens, das Ende des Recipienten gestellt. Er besteht aus einer sehr dünnen Kugel von deutschem Glase, welche sich in ein Schlangenrohr von demselben Material verläuft. Dieser Glasrecipient ist mittelst Kork in einem leichten Kupfergefäß befestigt, aus welchem er nach Beendigung des Versuchs leicht herausgenommen werden kann. Das oben offene Kupfergefäß ist gefüllt mit Wasser, welches auf 1° bis 2° C. (1°,8 bis 3°,6 F.) unterhalb der Temperatur der Luft abgekühlt worden. Das Ganze ist umgeben von einem äußern weißblechenen Gefäß, versehen mit einem abnehmbaren Deckel, in welchem drei Oeffnungen, eine für das Thermometer, eine andere für das Ende des Schlangenrohrs des Recipienten und eine dritte für den Umrührer, der aus einer sehr leichten und hohlen Glasröhre gebildet ist. Zwischen der Lampe, durch welche die Flüssigkeit erhitzt wird, und dem übrigen Apparat ist, wie die umstehende Figur zeigt, ein Schirm aufgestellt.

Das angewandte Thermometer ist ein sehr empfindliches und man verwandte die größte Sorgfalt, um sich seiner Genauigkeit zu versichern. Der Durchmesser seines Behälters ist nicht größer, als der einer dünnen Thermometerröhre, während

*) Quarterly Journ. of the chem. Soc. of London. No. p. 27. — Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 501.



seine Länge die ganze Tiefe des Calorimeters einnimmt. Es ist an einer willkürlichen Metallscale befestigt, die in Funfzigstel eines Zolls getheilt ist. Die Fehler des Calibers wurden durch zwei gesonderte Messungen von Quecksilbersäulen verschiedener Länge bestimmt. Der Frostpunkt wurde durch directe Beobachtung ermittelt und ein anderer nahe bei 25° C. (77° F.) gelegener Punkt durch Vergleich mit einem genauen Greiner'schen Thermometer. Aus diesen Datis war es leicht, eine Tafel zu entwerfen, welche den einem jeden Strich der willkürlichen Scale entsprechenden Grad angab, und ebenso den Multiplicator, welcher erforderlich war, um einen auf irgend einem Theil der Scale beobachteten Anwuchs in wahre Grade zu verwandeln. Zwei Tafeln wurden unabhängig von einander, nach gesonderten Messungen, construirt und es fand sich, daß sie nirgends mehr als 0°,01 C. (0°,018 F.) von einander abwichen. Innerhalb der gewöhnlichen Grenzen der atmosphärischen Temperaturen ist der Unterschied der Ausdehnung einer Metall- oder Glasscale für einen Anwuchs von ein paar Graden so unbedeutend, daß er vernachlässigt werden kann. Wichtiger ist die Berichtigung für das Quecksilber im Stiel des Thermometers. Die Multiplicatoren für die Abtheilungen der willkürlichen Scale wurden demgemäß berichtigt.

Die beobachteten Temperaturanwüchse wurden wegen des abkühlenden oder erwärmenden Einflusses der umgebenden Luft sorgfältig berichtigt. Ein bis zwei Minuten waren erforderlich, um die Flüssigkeit auf den Siedepunkt zu erheben; und während dieser Zeit blieb das Thermometer fast auf demselben Punkte. Während der Andauer des Siedens stieg das Thermometer sehr beständig und gleichförmig, erreichte aber nicht eher sein Maximum, als etwa zwei Minuten nach Aufhören des Siedens. Für die während dieser Perioden gewonnene oder verlorene Wärme wurde eine, aus directen Versuchen mit dem bloßen Calorimeter abgeleitete Berichtigung angewandt. Das Umrühren wurde noch fünf Minuten lang, nachdem das Thermometer sein Maximum erreicht hatte, fortgesetzt, und der Unterschied zwischen dem beobachteten und dem von der Rechnung angezeigten Wärmeverlust als eine fernere Berichtigung dem Resultate hinzugefügt. Diese letztere wird bei Untersuchungen wie die gegenwärtige, häufig vernachlässigt, allein sie steigt insgemein auf eine merkliche Größe und darf bei genauen Versuchen niemals vernachlässigt werden. Um zu verhüten, daß die Quecksilbersäule durch den Beobachter erwärmt wurde, ward die Scale mittelst eines stark vergrößernden, auf einem beweglichen Gestelle befestigten Fernrohrs abgelesen.

Außer den erwähnten Fehlerquellen giebt es noch andere von nicht geringerer Wichtigkeit, deren Einfluß aber viel schwieriger abzuschätzen ist. Wenn die Flüssigkeit zu langsam siedet, wird ein Theil des Dampfs in dem Rohre des Recipienten, kurz vor Eintritt in den Calorimeter verdichtet und dadurch entsteht ein bedeutender Wärmeverlust. Wird andererseits das Sieden sehr rasch betrieben, so wird im Innern der Retorte ein ungehöriger Druck erzeugt, die Temperatur des Dampfes über den gewöhnlichen Siedepunkt gehoben, und zuletzt ein zu großer Temperaturanwuchs erhalten. Ein Theil von unverdichtetem, nur partiell abgekühltem Dampfe wird auch entweichen, besonders zu Anfange der Operation, ehe die Luft ausgetrieben worden ist. — Um soweit als möglich zu ermitteln, welchen Fehlerquellen der eben beschriebene Apparat ausgesetzt sei, machte Andrews zwei Versuchsreihen mit Wasser und mit Alkohol. Bei der ersten dauerte das Sieden anderthalb bis zwei Minuten, bei der zweiten viertehalb bis fünf. Um die Operation in der möglichst kürzesten Zeit zu vollenden, ließ Andrews die Flüssigkeit sehr heftig sieden und ohne Zweifel wurde der Dampf unter einem höhern Drucke erzeugt, als dem einer Atmosphäre. In dem andern Falle geschah das Sieden mäßig und alle Fehlerquellen strebten dahin, die Resultate zu gering zu machen.

Als Mittelzahl für das Wasser gaben die Versuche der ersten Reihe 541°,4 C. und die der zweiten 532°,7 C. Das Mittel beider wäre 535°,9 C. Aus diesen Beobachtungen folgt, daß, wenn die Operation eigends so ausgeführt wurde, daß die vom Apparat herbeigeführten Fehler aufs Aeußerste übertrieben werden mußten, das Resultat dennoch um nicht mehr als 0,01 von der richtigen Zahl abwich.

Die Versuche mit dem Alkohol führten zu demselben Schluß. Das Mittel aus der Reihe, bei welcher das Sieden die kürzeste Zeit einnahm, war 205°,0 C. (401° F.) und das derjenigen, bei welcher es am längsten dauerte, 202°,4 C. (396°,3 F.), so daß der Unterschied hier noch geringer als bei den Versuchen mit Wasser war.

Bei Bestimmung der latenten Wärme anderer Körper ließ man die Flüssigkeit so stark als möglich kochen, ohne auf das Innere des Apparates einen erhöhten Druck auszuüben. Bei einigen wenigen Flüssigkeiten hielt es schwer, die Ver-

dampfung in der gewöhnlichen Zeit zu bewerkstelligen, und deshalb liegen die Resultate für deren latenten Wärmen wahrscheinlich etwas unter den wahren Zahlen. Diese Bemerkungen gelten besonders vom Jod- und Oxaläther, sowie vom Methyljodid und essigsaurem Methyl. — Das Gewicht des verdichteten Dampfes wurde dadurch ermittelt, daß man am Ende jedes Versuchs den Glasrecipienten wog und davon das des leeren abzog. — Der Siedepunkt wurde bei allen dem Versuch unterworfenen Flüssigkeiten mit großer Sorgfalt bestimmt, indem man die Flüssigkeiten in einer Glasretorte über einer sehr kleinen Weingeistflamme erhitzte und das Thermometer, wenig oberhalb der Oberfläche der Flüssigkeit, in dem Dampfe hielt. In die Retorte war etwas Quecksilber geschüttet, ausgenommen, wenn die Flüssigkeit dasselbe angegriffen haben würde. Die beobachteten Resultate wurden wegen des im Thermometerstiel enthaltenen und nicht durch den Dampf erhitzten Quecksilbers berichtigt, und ebenso wegen der Veränderung des Barometerstandes. — Bei mehreren der Flüssigkeiten wurde die specifische Wärme durch directe Versuche bestimmt. Die ins Sieden versetzte Flüssigkeit wurde schnell in eine dünne, in Wasser getauchte Glasröhre gebracht und der Wärmegewinn der letzteren beobachtet. Die Resultate stimmten im Allgemeinen sehr nahe mit denen von Regnault. In anderen Fällen wurden geradezu die von diesem Beobachter gegebenen Zahlen angewandt; endlich wurde jede Vorsicht getroffen, um mit vollkommen reinen Substanzen zu arbeiten.

Die Resultate der Untersuchungen von Andrews sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Die erste Columne enthält die latente Wärme für 1 Gramm eines jeden Dampfes, die zweite für 1 Litre, genommen bei der Siedehitze der Flüssigkeit unter dem mittleren Barometerdrucke, bei welchem die Versuche angestellt wurden. Der mittlere (auf 0 reducirte) Barometerdruck in englischen Zollen, bei welchem die Versuche angestellt wurden, ist in die dritte Columne eingetragen, während die vierte die Siedetemperatur der Flüssigkeit bei dem in der dritten Columne verzeichneten Barometerdruck ergiebt. Die fünfte Columne endlich enthält die Angabe der specifischen Wärme.

	Für 1 Gramm	Für 1 Liter	Barometerdruck	Siedetemperatur	Specif. Wärme
Brom	45,60	269,6	29'',9	58°	0,107
Phosphorchlorur . .	51,42	244,4	30,2	78,5	0,209
Schwefelkohlenstoff . .	86,67	254,9	30,3	46,2	0,319
Zinnchlorid	30,53	253,5	29.6	112,5	0,148
Wasser	535,90	318,3	29,92	100	1,00
Schwefeläther . . .	90,45	268,2	29,61	34,9	0,517
Alkohol	202,40	324,2	29,9	77,9	0,617
Methyl-Alkohol . . .	263,70	303,5	30,2	65,8	0,613
Jodäther	46,87	254,7	29,9	71,3	—
Methyljodid	46,07	252,8	29,6	42,2	0,158
Essigäther	92,68	287,9	30	74,6	0,474
Ameisensaures Methyl .	110,20	303,6	30	55	0,47
Ameisenäther . . .	105,30	290,3	30	54,3	0,485
Ameisensaures Methyl .	107,10	282,8	29,6	32,9	0,47
Oxaläther	72,72	291,4	30,7	184,4	0,457

Andrews spricht als allgemeines Resultat seiner Untersuchungen aus: es sei offenbar, daß zwischen dem Volumen des Dampfes und der latenten Wärme desselben eine allgemeine Beziehung existire, daß aber viele andere Elemente in Betracht zu ziehen seien, ehe die Natur dieser Beziehung genau bestimmt werden könne. Eine so einfache und allgemeine Beziehung wie die, daß die latente Wärme gleicher Volume verschiedener Dämpfe gleich sei, werde durch die experimentellen Resultate nicht unterstützt. Es sei indeß wahrscheinlich, daß der Satz unter gewissen physikalischen Bedingungen richtig sei; allein so lange er nicht verwirklicht und das Resultat durch directe Versuche festgestellt sei, könne man eine so allgemeine Folgerung nicht annehmen.

Ausgehend von einer theoretischen Untersuchung Laplace's *) über die elastischen Flüssigkeiten ist Pouillet **) in neuester Zeit zu interessanten Resultaten gelangt. Er macht darauf aufmerksam, daß die gesammte Wärmemenge, welche ein Kilogramm Dampf bei irgend einer Temperatur und beim Maximum der Spannung enthält, betrachtet werden kann als aus drei Theilen bestehend: 1) demjenigen, welchen ein Kilogramm der Flüssigkeit bei 0° enthält; 2) demjenigen, der erfordert wird, um sie als Flüssigkeit bis zu der beobachteten Temperatur zu erwärmen und 3) endlich der latenten Wärme, die noch hinzuzufügen ist, um die Verdampfung bei dieser Temperatur zu bewirken. Es sind nur zwei Arten von Flüssigkeiten zu unterscheiden: solche, bei denen das Kilogramm des Dampfes beim Spannungsmaximum Wärmequantitäten besitzt, die mit der Temperatur wachsen; und solche, bei denen das Kilogramm des Dampfes Wärmemengen besitzt, die abnehmen, sowie die Temperatur steigt. Das Wasser gehört zu den Flüssigkeiten der ersten Art: die Wärmemengen der Wasserdämpfe wachsen in dem Maße, in welchem die Temperatur steigt, ungeachtet die latenten Wärmen langsam abzunehmen scheinen. Denkt man sich einen Dampf von der Art des Wasserdampfes in ein für die Wärme undurchdringliches Gefäß eingeschlossen, so daß er sich durch die Berührung mit den Wänden des Gefäßes weder erwärmen noch erkalten kann, so ist er einer unbegrenzten Ausdehnung fähig, ohne daß das Mindeste tropfbar niedergeschlagen wird. Dagegen kann ein solcher Dampf keine größere Zusammendrückung erleiden (als die er im Maximum für die betreffende Temperatur hat), ohne daß augenblicklich eine theilweise Liquefaction desselben stattfindet. Von der zweiten Art ist der Kohlensäure-Dampf: die Kohlensäure enthält desto kleinere Wärmemengen, je höher die Temperatur steigt. Die Kohlensäure kann in einem für die Wärme undurchdringlichen Gefäße unendlich comprimirt werden, ohne daß eine Liquefaction erfolgt, indem die entwickelte Wärme immer mehr als hinreichend ist, die Temperatur über diejenige zu erhöhen, welche zum Maximum der Spannung erfordert wird. Erlaubt man ihr dagegen sich in einem größeren Raume zu verbreiten, so fehlt es ihr an Wärme und es muß durchaus ein Theil in den flüssigen oder starren Zustand übergehen, damit der Rest seine Elasticität behalte. Bekanntlich ist die Kohlensäure von Thilorier sowohl als tropfbare Flüssigkeit, wie als fester Körper dargestellt worden. In den Erschei-

*) Compt. rend. T. XXIII. p. 524. — Pogg. Ann. Bd. LXX. 386.

**) Compt. rend. T. XXIV. p. 915. — Pogg. Ann. Ergänzung. Bd. II. S. 379.

nungen, welche die Versuche mit flüssiger Kohlensäure begleiten, findet Pouillet eine Bestätigung des eben Gesagten. Zunächst meint er wohl die Erscheinung, daß wenn man einen Strahl flüssiger Kohlensäure in das Innere einer kleinen Glasphiole leitet, sich diese mit Theilchen von fester Kohlensäure füllen: bei der Ausdehnung des Dampfes schlägt sich ein Theil desselben in fester Form nieder. Bei — 40^0 C., sagt Pouillet, ist die latente Wärme der Kohlensäure weit größer, als bei 0^0 und sie nimmt sonach sehr rasch ab, bis sie ohne Zweifel einen Punkt erreicht, wo sie der Nullität nahe kommt. Wie die Kohlensäure, so verhält sich auch das Stickstoffoxydul.

Pouillet wurde durch seine Untersuchungen veranlaßt, die latente Wärme des Wasserdampfes für die Temperatur 0^0 zu bestimmen. Er verfuhr dabei nach folgender Methode. Ein Rohr von dünnem Glase, etwa 1 Centimeter im Durchmesser und 20 Centim. in der Länge von bekanntem Gewicht, enthält einige Grammen Wasser, welche sorgfältig gewogen worden und zur Verdampfung bestimmt sind. Um die latente Wärme zu sammeln, die sie bei der Zustandsänderung aufnehmen müssen, taucht man das Rohr in ein nahe bis 0^0 erkaltetes Bad, dessen Erwärmungsgesetz man beobachtet. Dieses Bad besteht aus etwa 100 Grammen Wasser, die in einer Glocke von dünnem Glase von 4 bis 5 Centimeter Durchmesser und hinlänglicher Höhe enthalten sind. Um die Verdichtung der äußeren Dämpfe an den Wänden der Glocke zu verhüten, ist sie mittelst eines Korks befestigt in einem cylindrischen Glasgefäß von 12 bis 15 Centim. Durchmesser und hinreichend großer Höhe, damit die Schicht Schwefelsäure, welche den Boden bedeckt, keine zu directe Einwirkung auf den untern Theil der Glocke ausübe. Dadurch vermindert man die Verdichtung der Dämpfe und die Wirkung von Luftströmen, welche beide das Erwärmungsgesetz stören würden. — Das Wasser im Bade muß ein um einige Centimeter höheres Niveau haben, als das Wasser in der Verdunstungsröhre; es muß durch zweckmäßiges Umrühren regelmäßig bewegt werden; die Temperatur wird durch ein mit dem Kathetometer abgelesenes Thermometer angegeben. Nachdem die Sachen sonach vorgerichtet sind, bestimmt man sorgfältig die Dauer der Erwärmung für jeden halben Grad, z. B. von 3^0 oder 4^0 bis 7^0 oder 8^0. Während dieser ersten Periode erfolgt keine Verdampfung in der Röhre; zwar steht diese in Gemeinschaft mit der Luftpumpe oder vielmehr einer Glocke, die concentrirte Schwefelsäure enthält, allein das Vacuum ist nicht gemacht. Sobald die Erwärmung bis 8^0 gediehen ist, beginnt die zweite Periode, d. h. man stellt das Vacuum her, zwar rasch, aber doch mit der Vorsicht, damit das Sieden mäßig sei, ohne Aufstoßen und Fortschleudern der Flüssigkeit. Augenblicklich verlangsamt sich der Gang der Erwärmung, man könnte das Thermometer sogar auf $7^0,5$ zurückbringen oder wenigstens 10 bis 12 Minuten, was die zur Verdampfung von 1 bis 2 Gramm Wasser erforderliche Zeit ist, auf 8^0 halten. Dann läßt man wieder Luft eintreten und zur größern Sicherheit während dieser dritten und letzten Periode fährt man noch fort, das Erwärmungsgesetz bis 10 oder 12 Grad zu beobachten, wenn die umgebende Temperatur etwa 20^0 ist. — Kennt man durch eine neue Wägung das Gewicht des verdampften Wassers, kennt die Zeit, während welcher das Bad mit seinem ganzen Inhalt durch den Effect der Verdampfung zwischen 7^0 und 8^0 gehalten ward, und weiß, wie viel Wärme es innerhalb dieser Zeit aufnehmen mußte, so ist es leicht, daraus die Wärmemenge abzuleiten, welche ihm die Verdampfung selbst entzogen hat. Mehrere Versuche, deren Resultate

ziemlich übereinstimmten, gaben für die latente Wärme des Wasserdampfes bei 0° etwa 560 Einheiten *).

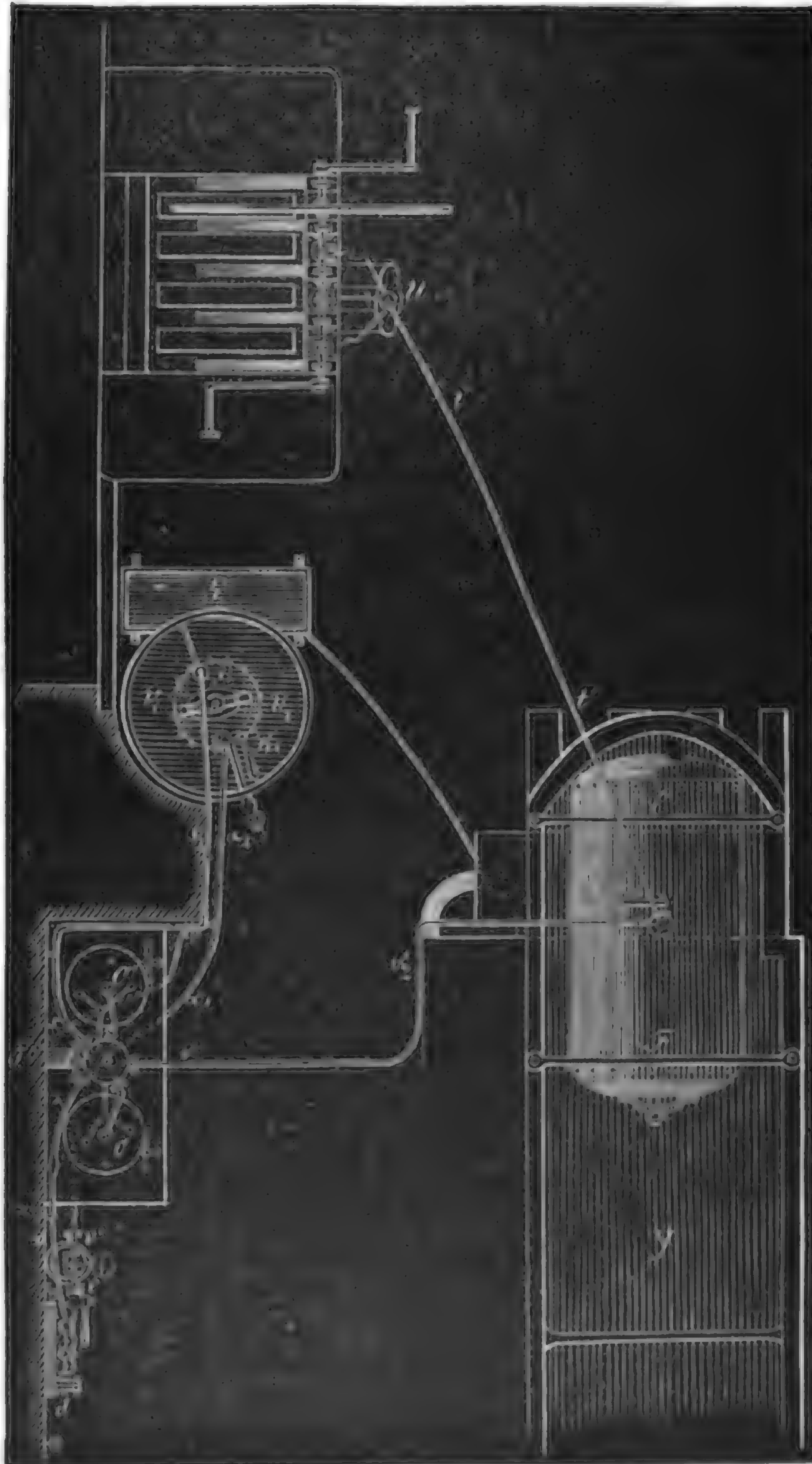
Bei Gelegenheit der Besprechung der Gesetze, welche einerseits Watt, Clement und Desormes, andererseits Southern über die Wärme des Dampfes aufgestellt, habe ich schon die Untersuchungen von Regnault über die latente Wärme des Wasserdampfes und ihr Hauptresultat erwähnt. Ich darf aber diesen Gegenstand nicht verlassen, ohne diese Versuche selbst näher zu beschreiben. Regnault **) selbst giebt nach einer Geschichte und Kritik der älteren Versuche von dem von ihm angewendeten Apparate folgende Beschreibung. Die wesentlichsten Theile sind: 1) ein Dampfkessel, 2) ein Condensator, 3) ein Luftbehälter, welcher als künstliche Atmosphäre dient, 4) ein System von zwei einander vollkommen ähnlichen Calorimetern, 5) ein dampfvertheilender Hahn, 6) ein Quecksilbermanometer und 7) eine Luftpumpe. Die umstehenden Figuren I. und II. zeigen den Apparat im Grund- und Aufriß. Der Kessel ist aus 12 Millimeter dickem Eisenblech gebildet, hat 0m,64 im Durchmesser und 0,8 in der Höhe. Der wohl aufgebolzte Deckel desselben ist 30 Millimeter dick und hat zwei Oeffnungen, eine in der Mitte und eine seitwärts. Die in der Mitte ist verschlossen durch eine gußeiserne Platte, in welche drei unten verschlossene Eisenröhren hermetisch eingelassen sind. Diese Röhren dienen zu Aufnahme der Thermometer, mittelst welcher die Temperatur des Dampfes und des Wassers im Kessel bestimmt wird. Eine dieser Röhren geht bis zum Boden des Kessels, die andere nur bis zur Mitte und niemals ins Wasser hinab. Beide halten inwendig 10 Millim. im Durchmesser; die dritte von 10 Millim. im innern Durchmesser nimmt den Behälter eines Luftthermometers auf. — Der Kessel faßt etwa 300 Liter Wasser, wird indeß nur mit 150 Liter versehen, die durch eine dicht verschließbare Oeffnung im Deckel eingegossen werden. Er steht in einem Nebengemach, in Verlängerung des Rohrs T′ T Fig. I. in einem gemauerten Ofen, dessen Schornstein, zur Regulirung des Luftzugs, mit einem Schoß versehen ist. — Die seitliche Oeffnung im Deckel nimmt ein Kupferrohr O O′ auf, welches den Dampf aus dem Kessel in den

---

*) Pouillet bemerkt hierbei: Die Hauptschwierigkeit bei diesen Versuchen entspringt aus einem Phänomen, welches ich nicht vorausgesehen hatte. Die Präparatoren haben so viele Mühe, in den Vorlesungen den Leslie'schen Versuch anzustellen, daß ich nicht erwartete, hier in der Gefrierung durch das Vacuum ein Hinderniß anzutreffen, und dennoch geschah es. Die zu verdampfende Flüssigkeit befand sich, wie gesagt, umgeben von dem Wasser des Bades, dessen Temperatur 7° bis 8° war, und überdies lebhaft umgerührt ward, besonders an dem Punkte, wo sich die Kälte erzeugte. Ungeachtet dieser bedeutenden Erwärmung gefror die oberflächliche Schicht unaufhörlich, wenn man nicht die Operation mit besonderer Sorgfalt mäßigte und es geschah oft, daß sich dann eine Art von Stempel bildete, welcher fortgeschleudert durch die Spannkraft des Wassers gegen das darunter befindliche Eis, bisweilen bis in die Luftpumpe flog. Man muß nicht bloß diese Fehlerquelle vermeiden, sondern gar mit größter Sorgfalt darauf achten, daß nichts von der Flüssigkeit durch das Aufkochen gegen die über dem Niveau des Bades befindlichen Wände der Röhre gespritzt werde. Man gelangt dahin, indem man aus feinem Platindraht gewissermaßen einen lockern Propfen in der Flüssigkeit bildet und einen zweiten ähnlichen Pfropfen etwas über deren Oberfläche, aber unter dem Niveau des Bades anbringt.

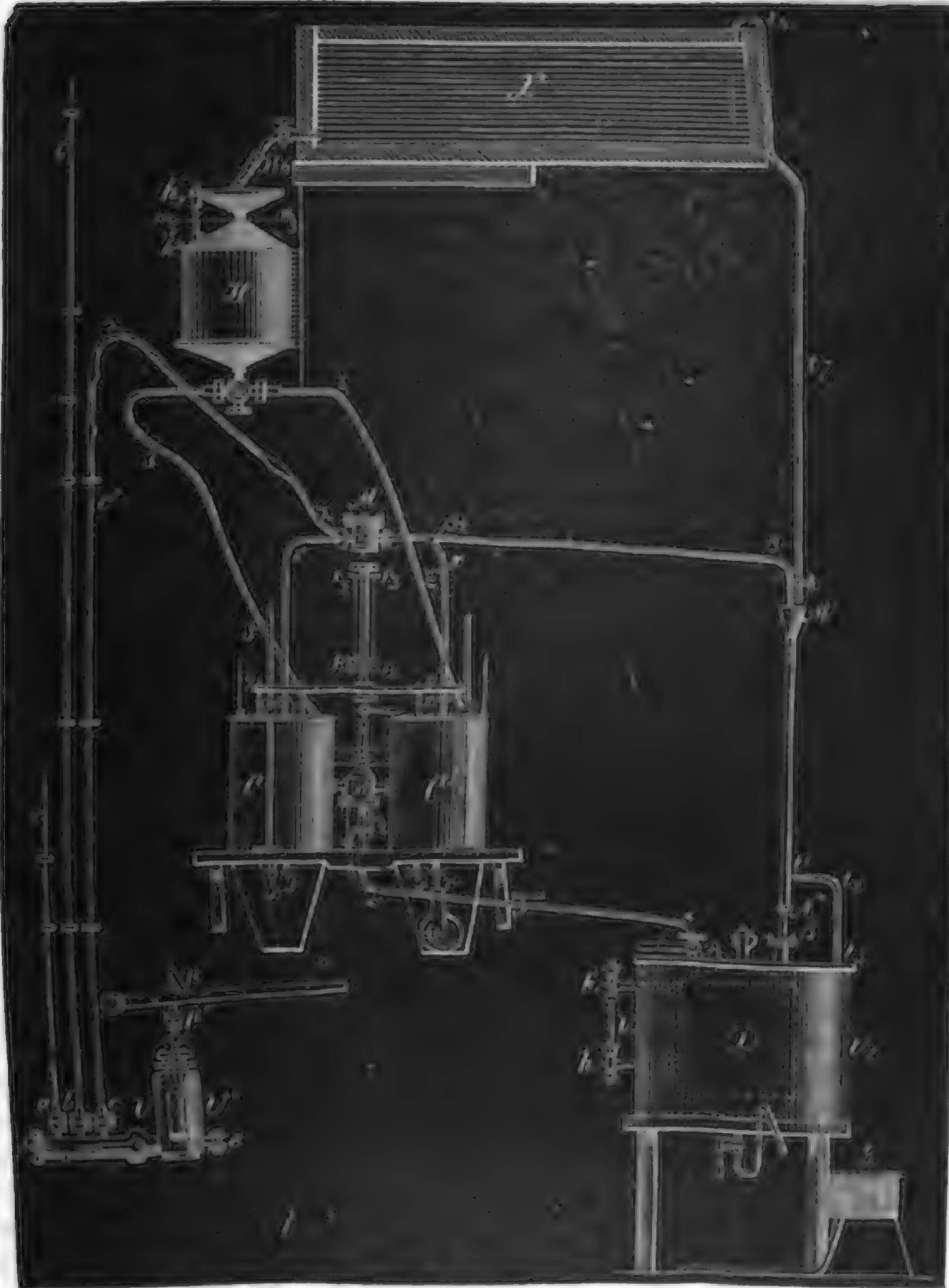
**) Relations des experiences entreprises etc. pour déterminer les principales lois et les donnés numeriques, qui entrent dans le calcul des machines à vapeur. Paris 1847. No. 9. Sur les chaleurs latentes de la vapeur aqueuse a saturation sous diverses temperatures. Poggendorff's Annalen Bd. LXXVIII. S. 196. u. S. 523.

I.



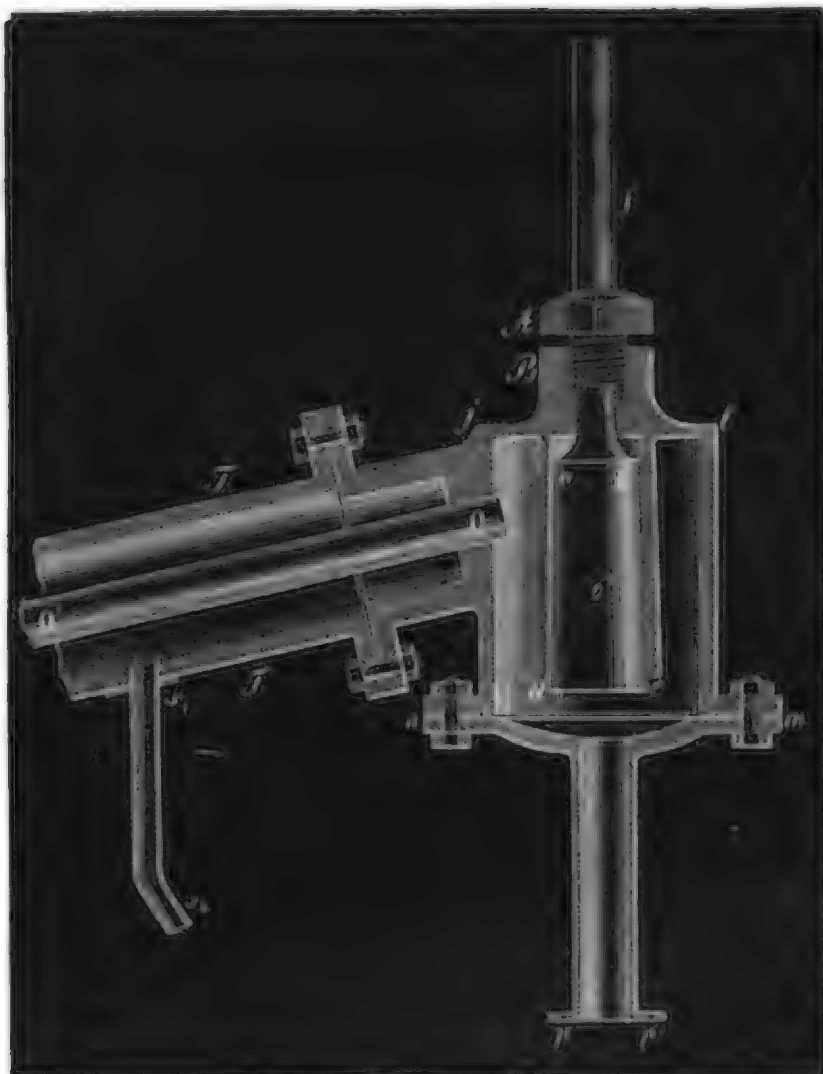
Vertheilungshahn R und somit in den Calorimeter führt. (Fig. III. S. 72 zeigt einen Theil desselben.) Um zu verhüten, daß in diesem Rohre Dampf verdichtet und flüssiges Wasser hineingerissen werde, ist dasselbe, welches 35 Millimeter im Durchmesser hält, umgeben von einer weiteren 9 Centimeter im Durchmesser hal-

II.



tenden Röhre T T', welche ebenfalls Dampf enthält. Dieser Dampf kommt auch aus dem Kessel und hat genau die Temperatur desselben, wird aber nicht zum Versuch gebraucht; er tritt auch nicht in den Hahn b, sondern hat seinen Ausgang durch eine Röhre $s_1 s_2$, welche ihn direct zum Condensator D führt und durch einen Hahn verschließbar ist. Das innere Rohr O O' sitzt nicht blos an dem Kessel, sondern geht in denselben hinein, macht darin zwei schlangenförmige Umgänge und mündet genau in der Mitte der Dampfkammer. Sonach wird der Dampf aus der Mitte der Kammer geschöpft und ohne Abkühlung bis in den Vertheilungshahn R geführt.

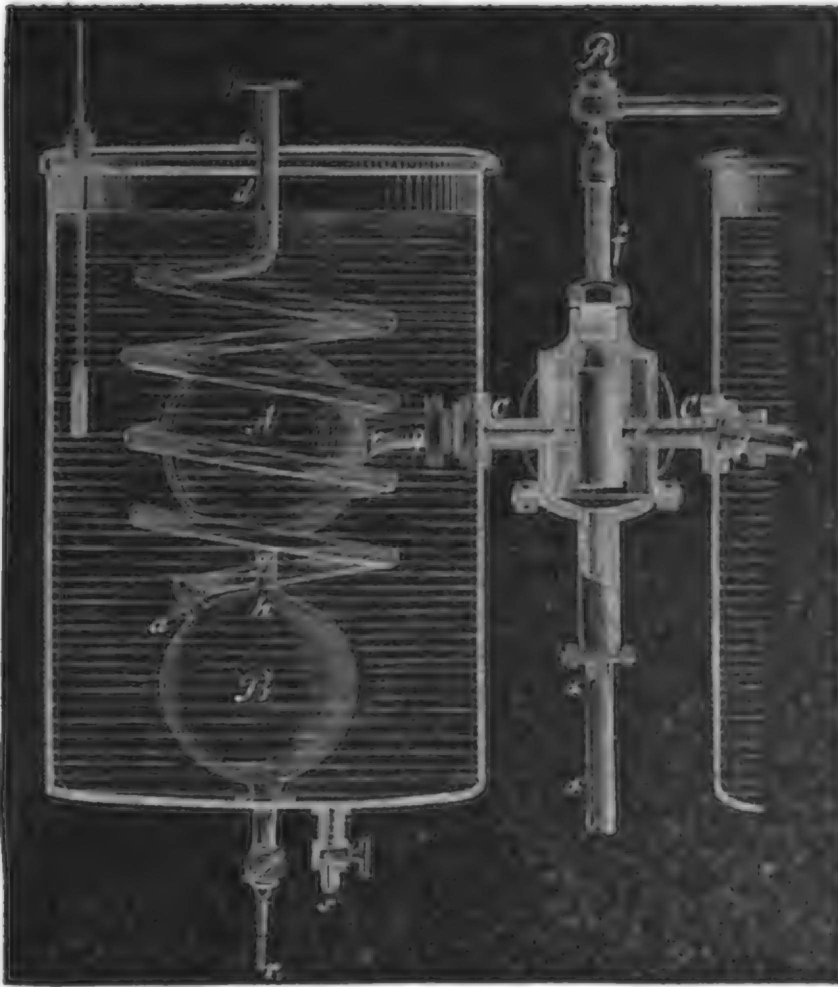
III.



Der Condensator D ist ein Cylinder von 12 Millim. dickem Eisenblech und steht in einem großen Behälter V_1 V_2 von Eisen, der mit kaltem Wasser gefüllt ist und ihn dadurch stets in einer niedrigen Temperatur erhält. — Dieser Condensator trägt mehrere metallene Tubulaturen. Eine erste derselben α, versehen mit einem Hahn R_1 setzt den Condensator, mittelst einer kupfernen Röhre $\alpha\alpha_1\alpha_2$, in Verbindung mit dem inneren Theile des Verbindungshahns R; eine zweite β führt mittelst der kupfernen Röhre $\beta\beta_1\beta_2$ zu einer metallenen Büchse M, die dazu dient, den Druck gleichmäßig im ganzen Apparat zu vertheilen; eine dritte, unten, dient zum Ablassen der verdichteten Flüssigkeit; und eine vierte, seitwärts, führt zu einem Niveau-Anzeiger h′h″. Um den Condensator, der 60 Liter faßt, beständig in einer niederen Temperatur zu erhalten, wird das ihn umgebende Wasser im Behälter V_1 V_2 fortwährend erneuert aus einer über ihm stehenden großen Wanne X. Aus dieser fließt das Wasser durch einen Heber t_6 t_7, der durch einen Hahn r_3 regulirt wird, zunächst in den Taucher M′N′, der den senkrechten Theil der Röhre $\beta\beta$ umgiebt, um darin die Verdichtung des Dampfes zu vollenden, falls sie im Condensator D nicht vollständig gewesen sein sollte. Dann geht dies Wasser durch die kleine Röhre t_1 t_2 t_3 bis zum Boden des Behälters V_1 V_2, während das erwärmte Wasser oben abfließt, zunächst in ein Gefäß G und von da in einen Brunnen.

Der Luftbehälter EF besteht aus einem Cylinder von 12 Millimeter dickem Eisenblech, hat $0^m,72$ im Durchmesser, $1^m,4$ in Länge, folglich eine Geräumigkeit von etwa 600 Litern. Er liegt in einem Bassin Y, gehalten von zwei Eisenstäben. Oben besitzt er in einem broncenen Stück zwei Tubulaturen, eine verticale und eine horizontale. Erstere setzt den Behälter durch die Röhre tt′ in Verbindung mit der Druckluftpumpe; letztere, durch die Röhre $\delta\delta_1$, mit der Büchse M.

IV.



Die Einrichtung der Calorimeter C, C' begreift sich leichter aus beistehender Fig. IV., die diese und den Vertheilungshahn R in lothrechtem Durchschnitt zeigt. Die Calorimeter bestehen aus zwei kupfernen Cylindern mit Deckeln von sehr dünnem Metall. Ein Hahn s, am tiefsten Punkt ihres Bodens, erlaubt das Ablassen des in ihnen enthaltenen Wassers. — Das Schlangenrohr besteht erstens aus einer kupfernen Kugel A von 2 Millimetern Wanddicke, in welche der zu verdichtende Dampf unmittelbar gelangt. Das flüssige Wasser und der nicht verdichtete Dampf begeben sich durch die Röhre g h in eine zweite Kugel B, welche der ersten ähnlich ist, aber unten, außerhalb des Calorimeters, einen Hahn r_1 trägt. Dieselbe Kugel hat auch oberwärts eine Tubulatur a und daran ein kupfernes Schlangenrohr, welches durch die Röhre d e γ_1, in der Axe des Calorimeters, zu diesem hinausführt. In γ_1 ist ein Rand zum Anschrauben der kupfernen Röhren $\gamma_1 \gamma$, welche die Verbindung mit der Büchse M herstellen. — Um das Wasser in den Calorimetern während des Versuchs beständig durch einander zu rühren, ist ein Agitator angebracht. Derselbe besteht aus ausgeschnittenen Kupferringen in horizontaler Lage, versehen mit lothrechten Stielen, die durch einen horizontalen Stab $\eta\eta'$ verbunden sind (Fig. II. S. 71). Letzterer sitzt in der Mitte an einem lothrechten Kupfercylinder, den man durch Schnüre, die über Rollen $\varrho_2\,\varrho_2\,\varrho_3\,\varrho_3$ laufen, aufziehen und herablassen kann. Der ganze Lauf des Agitators beträgt die halbe Höhe der Calorimeter. Jeder Stiel trägt zwei Kupferringe, in solcher Lage, daß, wenn der eine den Boden des Calorimeters nahezu berührt, der andere sich in der Mitte befindet. Auf diese Weise wird in beiden Calorimetern ein vollkommen gleichmäßiges Umrühren bewerkstelligt. — Bei jedem Versuch wird ein gleiches Volumen Wasser in die Calorimeter gebracht, abgemessen in dem Gefäße H. Dies aus verzinktem Eisenblech gemachte Gefäß steht, an der Mauer befestigt, mit seinem Trichter unter dem Hahn R_6 der Wanne X. Trichter und Körper des Gefäßes sind seitlich verbunden durch eine Glasröhre $h_2\,h'_2$, auf welcher ein Visirstrich in der Ebene $m_3\,n_3$, bis zu welcher das Gefäß mit Wasser gefüllt

wird. Unten hat das Gefäß einen durchbohrten Hahn, mittelst dessen man nach Belieben Wasser entweder durch die Röhre ζζ' in das Calorimeter C, oder durch die Röhre ξξ' in das Calorimeter C' bringen kann.

Der Vertheilungshahn B wird aus Fig. III. S. 72 verständlich werden. In einem Stück aus Metall gegossen besteht er erstlich aus einem ringförmigem Raum jlnm, in welchen der Dampf direct aus dem Rohre OO' gelangt und zweitens aus einem centralen, schwach konischen Raum hgik, welcher den hohlen Hahn abde einschließt. Zwei Röhren oC, o'C' führen von diesem innern Raum zu den Calorimetern, und der hohle Hahn abde gestattet, durch ein seitliches Loch o, die Verbindung mit dem einen oder dem andern Calorimeter herzustellen, oder sie mit beiden ganz zu unterbrechen, der Stiel f des Hahns geht in der Oeffnung B dampfdicht durch einen Hanfring, der mit geschmolzenem Kautschuck eingefettet ist und durch den Schraubenbolzen A zusammengepreßt wird. Oben ist er mit einer Handhabe versehen (Fig. IV. S. 73). Unten ist die Büchse jlmn verschlossen durch eine angeschraubte und durchbohrte Platte mnpp', aus welcher die Röhre α, α zum Condensator D führt (Fig. II. S. 71). Die Verbindung der Tubulaturen oC, o'C' mit den Schlangen in den Calorimetern bot beträchtliche Schwierigkeiten dar, da alle Verbindungsstücke innerhalb der Calorimeter bleiben mußten, und zum leichten Abfließen des aus der Verdichtung des Dampfes entstandenen Wassers den Röhren qr eine geneigte Lage zu geben war. Durch Fig. IV. S. 73 wird indeß die Einrichtung einigermaßen verständlich sein.

Das Quecksilbermanometer und die Luftdruckpumpe waren dieselben Instrumente, deren sich Regnault auch bei seinen Versuchen über die Elasticität der Wasserdämpfe (s. d. Folg.) bediente. Das Manometer ist im Wesentlichen ein U förmiges Glasrohr mit einem kürzeren Schenkel, der zum übrigen Apparat führt, und einem längeren, der in freier Luft mündet. Es mißt die Spannung der in dem Apparat enthaltenen Dämpfe und Gase durch die Höhe der in seinem langen Schenkel aufsteigenden Quecksilbersäule, und da diese Spannung bis zu einem Druck von 30 Atmosphären geht, so ist das Instrument von etwas colossaler Größe und von complicirterer Einrichtung, als es, wenn es nur zur Messung kleiner Drucke diente, sein würde. Man sieht es in Fig. I. u. II. S. 70 und 71 in Grund- und Aufriß angedeutet. Die Schenkel desselben bestehen aus Glasröhren von 3 Metern Länge, 10 Millim. innerem Durchmesser und 5 Millim. Wanddicke und zwar der kurze Schenkel aus einer einzigen, der lange aber aus 8, die auf eine eigenthümliche Art sehr solid mit einander verbunden sind. Außerdem ist noch eine dritte Glasröhre angebracht, die oben zugeschmolzen ist und in diesen Versuchen nicht weiter gebraucht wird. Diese drei Glasschenkel aa', bb', cc' sind unten eingekittet in die Ansätze eines starken gußeisernen Kanals de, der vorn ein ziemlich weites cylindrisches Gefäß VV' von gleichem Material trägt. Kanal und Gefäß sind mit Quecksilber gefüllt, und um dieses zu Anfang des Versuchs bis zu einem bestimmten Punkt in den Röhren emporzutreiben, hat das Gefäß eine kleine Wasserpumpe pp', die durch ein Hebelwerk sm bewegt wird. Das Manometer ist innerhalb eines Thurmes an einer starken, aus mehreren Stücken zusammengesetzten Bohle aufgerichtet, und geht noch, fast zur Hälfte seiner Höhe, an einem solid befestigten Mastbaum über den Thurm hinaus. Innerhalb des Thurmes geschieht die Ablesung des Standes der Quecksilbersäule im Rohre bb' mittelst Kathetometern, die auf- und abgeschoben werden können, während auch für den

Beobachter ein beweglicher Stuhl angebracht ist, mittelst dessen er sich in jede erforderliche Höhe versetzen kann. Eine ähnliche Vorrichtung befindet sich oberhalb des Thurmes, wo indeß der Beobachter den Stand der Quecksilbersäule an einer unmittelbar auf der Glasröhre befindlichen, Millimeter angebenden, Scale mittelst eines Fernrohrs abliest. Die Temperatur wird durch mehrere, in verschiedener Höhe angebrachte Thermometer angegeben und der Luftdruck durch ein Barometer. — Die Luftpumpe, welche den Zweck hat, Luft in dem Gefäße U (Fig. I. S. 70) zu comprimiren, besteht aus drei einfachen Pumpen, deren Kolbenstangen durch eine einzige mit Schwungrad und Handhaben versehene Welle in Bewegung gesetzt werden. So lange der Druck nicht 10 Atmosphären übersteigt, reichen zwei Mann dazu aus, geht er aber bis zu 20 Atmosphären, sind vier Mann erforderlich. Das Manometer communicirt mit der Gesammtheit der Apparate durch die Röhre $\lambda\lambda'$, welche zur tubulirten Büchse M führt.

Alle Theile des Apparates wurden so construirt, daß sie einen Druck von 20 Atmosphären ertragen konnten; allein die Hauptschwierigkeit bestand darin, sie vollkommen luftdicht zu machen. Zu dem Ende wurden die eisernen Cylinder mehrmals auswendig mit einer Salmiaklösung bestrichen und dann länger als einen Monat der oxydirenden Wirkung der Luft ausgesetzt. Durch den entstandenen Rost gelang es, die kleinen Risse in dem Metall zu verstopfen und die Fugen luftdicht zu machen. Der Apparat wurde dann vollständig zusammengestellt und die Luft darin, mittelst der Druckpumpe, bis zu einem Druck von 5 Atmosphären comprimirt. Die Bassins, die Calorimeter ꝛc. wurden mit Wasser gefüllt, um alle die Theile unter Wasser zu setzen, die dazu bestimmt waren. Diejenigen, welche nicht unter Wasser gesetzt werden konnten, wurden vollständig untersucht, nachdem man sie mit Seifenwasser bestrichen hatte. Man entdeckte dadurch, hauptsächlich in den Apparaten aus Eisenblech, eine grosse Anzahl kleiner Risse; es gelang aber, sie zu verstopfen, indem man das Metall mit dem Polirstahl rieb. Die kupfernen Röhren wurden zuvor mit der hydraulischen Presse unter einem Druck von 20 Atmosphären untersucht. — Die Luft im Apparat wurde nun bis zu 10 Atmosphären Druck verdichtet und 10 Stunden stehn gelassen. Nach Ablauf dieser Zeit hatte die manometrische Säule sich nur um 1 Decimeter gesenkt, und diese schwache Verringerung des Drucks war größtentheils durch eine Abnahme der Temperatur entstanden, wahrscheinlich auch durch eine Sauerstoffabsorption seitens der feuchten Metallwände. Es war übrigens unmöglich, mittelst Seifenwassers das geringste Entweichen wahrzunehmen.

Regnault untersuchte nun zunächst die Gesammtwärme des Wasserdampfes unter dem Druck der Atmosphäre. Für diesen Fall ist ein großer Theil der Stücke des Apparates überflüssig Man setzt den Apparat mit der äußeren Luft in Verbindung, indem man den Hahn R_4 des Luftbehälters herauszieht; man läßt ihn aber in Verbindung mit dem Quecksilbermanometer, um zu erfahren, ob nicht, während der Destillation, ein merklicher Drucküberschuß stattfinde. Man bringt etwa 150 Liter Wasser in den Kessel und steckt zwei Quecksilberthermometer in die Eisenröhren, solchergestalt, daß die Quecksilbersäulen kaum aus dem Kessel herausragen. Man beobachtet diese Thermometer mit einem Fernrohr. Alle vom Dampf durchströmten und der freien Luft ausgesetzten Theile des Apparates werden mit Lagen von Flanell umhüllt, so namentlich das Rohr

T T′, der Vertheilungshahn R mit seinen Ansätzen und die zum Condensator D führende Röhre a, a_1, a_2. Der Vertheilungshahn wird so gestellt, daß der Dampf in keines der Calorimeter gelangt, sondern direct, durch die Röhre a, a_1, a_2 in den Condensator D. Man unterhält die Destillation etwa eine Stunde, so daß 20 bis 30 Liter in den Condensator übergehen. Dadurch wird die Luft vollständig ausgetrieben, und die verschiedenen Theile des Apparates erlangen Einen Temperaturzustand. — Man bringt in jedes Calorimeter das bestimmte Maß kalten Wassers und setzt die Agitatoren in Bewegung. Die Thermometer sind so tief eingesteckt, daß sie mit den Gipfeln ihrer Säulen kaum aus den Pfropfen hervorragen, die zu ihrer Befestigung in den Deckeln der Colorimeter dienen. Sie werden mittelst Fernröhre abgelesen, die horizontal an verticalen Ständern verschiebbar sind. Man macht einen vorläufigen Versuch darin bestehend, daß man die Erwärmung der Calorimeter unter beständiger Umrührung ihres Wassers fünf Minuten lang beobachtet. Die Temperatur dieses Wassers ist niedriger als die der umgebenden Luft. Die letztere sucht sie also zu erhöhen. Ebenso wird den Calorimetern auf dem Wege der Leitung durch die Verbindungsstücke des Vertheilungshahns beständig eine gewisse Wärmemenge zugeführt. Die Beobachtung giebt also die Summe dieser beiden Wärmemengen. Durch Combination dieser Beobachtung mit einer anderen zuvor gemachten, bei welcher man die Erwärmung der Calorimeter unter ähnlichen Umständen aber bei ungeheiztem Kessel, also bloß vermöge des Contacts mit der Luft aufgezeichnet hat, erhält man die nöthigen Elemente zur Berechnung der Wärmemenge, welche den Calorimetern von dem Vertheilungshahn aus, wenn dieser einen Dampfstrom von 100° durchläßt, auf dem Wege der Leitung zugeführt wird. Solchergestalt ist dieses Berichtigungselement für die übrigen Versuche bestimmt.

Jetzt dreht man den Vertheilungshahn so, daß der Dampf in das Calorimeter C gelangt und beurtheilt die darin verdichtete Dampfmenge aus dem Gange des Thermometers dieses Calorimeters. Hat man die gewünschte Temperaturerhöhung erhalten, so schließt man den Hahn, indem man ihn in seine ursprüngliche Stellung versetzt. Der Dampf geht nun noch durch den Hahn R, begiebt sich aber ganz in den Condensator, während er, bei der früheren Stellung des Hahns, zum Theil in das Calorimeter C ging. Man kann übrigens den Antheil des Dampfes, der in das Calorimeter übergeht und folglich die Zeit, welche das Wasser des Calorimeters zu seiner Erwärmung um eine gleiche Zahl von Graden erfordert, nach Belieben vergrößern oder verringern. Will man, daß diese Zeit sehr lang sei, so läßt man den Hahn R_1 des Condensators ganz offen und öffnet den Vertheilungshahn R nur zum Theil. Will man dagegen, daß diese Zeit sehr kurz sei, so schließt man den Hahn R_1 theilweis und öffnet den Hahn R gänzlich. Die gesammte Dampfmenge, die während einer gegebenen Zeit in den Apparat übergeht, kann man übrigens vermehren oder vermindern, indem man das Feuer unter dem Kessel mehr oder weniger anschürt.

Im Moment, wo man den Hahn R verschließt, notirt man die Zeit, taucht das Thermometer bis zum Gipfel seiner Säule in das Calorimeter C und beobachtet von Minute zu Minute die Temperaturen an den Thermometern beider Calorimeter. Nach ein oder zwei Minuten kommt das Thermometer C zum Stillstand, und dann beginnt es zu sinken. Man fährt fort es fünf Minuten lang zu beobten, ebenso wie das Thermometer C′.

Nun läßt man das Wasser, welches sich im Calorimeter C verdichtet hat, abfließen und sammelt es in einem unter dem Hahn r_1 stehenden Kolben o, in welchem sich ein Thermometer mit sehr kleinem cylindrischen Behälter aufgehängt befindet. Sobald bei voller Oeffnung des Hahnes r_1 das Ausfließen aufhört, schließt man ihn, schüttelt das Wasser im Kolben um und beobachtet rasch seine Temperatur. Man stellt den Kolben wieder unter den Hahn und beobachtet abermals den Gang der Thermometer fünf Minuten lang. Nach Verlauf dieser Zeit öffnet man aufs Neue den Hahn r_1 und sammelt die Wassertropfen, die noch an den Wänden herabfließen. Die kleine Menge Flüssigkeit, welche die Innenwände benetzt, wird als gleich bei allen Versuchen und folglich als zum Apparate gehörig angesehen. — Ein Gehülfe wägt das in dem Kolben aufgefangene Wasser. — Während dieser Zeit hat man den Agitator beständig in gleichförmiger Bewegung erhalten und damit fährt man auch während des zweiten Theils des Versuches fort, wenn das Calorimeter C′ seinerseits functionirt.

Man verstärkt das Feuer unter dem Ofen, und wenn die Destillation wieder regelmäßig geworden ist, was man aus der Art, wie das Wasser im Indicator $h_1 h'_1$ des Condensators steigt, entnimmt, beobachtet man zugleich die Thermometer der Calorimeter C und C′, und bringt den Vertheilungshahn R in die Stellung, bei der er den Dampf in das Calorimeter C′ führt. Dann verfährt man genau so, wie es vorhin bei dem Calorimeter C beschrieben ist. Endlich, nachdem das verdichtete Wasser aus dem Calorimeter C′ abgelassen worden, beobachtet man 5 Minuten lang das Sinken der beiden Thermometer C und C′, welche ungeachtet der gleichen Wärmemengen, die ihnen auf dem Wege der Leitung vom Vertheilungshahn R her zugeführt werden, erkalten, weil die Temperatur der Calorimeter höher ist, als die des umgebenden Mediums.

Regnault weist nun näher nach, wie man sich bei dem von ihm vorgeschlagenen Verfahren gegen die bei derartigen Versuchen vorkommenden Fehlerquellen schütze, und wie der Versuch selber die Elemente zu den nöthigen Berichtigungen liefere. Die Einrichtung der inneren Röhre, die den Dampf aus dem Centrum der Dampfkammer schöpft und darauf in Schlangengestalt mehr als vier Meter lang im Kessel herumläuft, hat den Zweck, das Fortschleudern von flüssigem Wasser, durch das Aufstoßen der Flüssigkeit, zu verhüten. Dies Aufstoßen ist übrigens sehr schwach, weil das Sieden regelmäßig unter einem constanten Luftdruck geschieht.

Der wirkende Dampf ist auf seinem ganzen Wege bis zu den kleinen in die Calorimeter führenden Ansätzen i i′, die nur vier Centimeter lang sind, umgeben von einer dicken Dampfhülle, welche sich direct in den Condensator begiebt und dieselbe Temperatur wie er besitzt. Zur größeren Sicherheit sind alle metallenen Theile mit dickem Wollenzeug umgeben. — Die Störungen endlich, die bei dem gewöhnlichen Verfahren zu Anfang und Ende des Versuchs stattfinden, stellen sich hier nicht ein, weil der Versuch weder Anfang noch Ende hat. Erst, wenn die Destillation regelmäßig geworden und alle Theile ihre normale Temperatur erlangt haben, tritt der Dampf in den Calorimeter. — Das beim Versuch beobachtete Steigen der Temperatur des Wassers im Calorimeter bedarf einer Berichtigung, welche Regnault näher bestimmt. Der Geist seiner Methode besteht darin, daß man die Berichtigungen für das Calorimeter, welches wirklich functionirt, nach den Beobachtungen bestimmt, die gleichzeitig am zweiten Calorimeter gemacht

werden, an demjenigen, welches blind functionirt, d. h. unter gleichen Umständen der äußeren Störung, aber ohne Dampf zu empfangen, so daß seine Veränderungen nur Folgen der störenden Ursachen sind, die gleichzeitig auf das erste Calorimeter einwirken.

Regnault stellt die 44 von ihm unter dem Druck der Atmosphäre angestellten Versuche in einer Tafel zusammen. Nach Ausschluß der 6 ersten nur vorläufigen Versuche, schwanken die Bestimmungen für die Gesammtwärme des Dampfes zwischen 635°,6 und 638°,4; das arithmetische Mittel ist (wie schon oben, angegeben wurde) 636°,67, als die Gesammtwärme, welche der Dampf bei Verdichtung zu flüssigem Wasser bei 0° abgiebt.

Ferner stellte nun aber Regnault Versuche an zur Bestimmung der Gesammtwärme des Dampfes unter Drucken, größer als der der Atmosphäre. Die Apparate waren so eingerichtet, daß die Versuche mit Dampf von hohem Druck unter ganz ähnlichen Umständen geschahen, wie die früheren mit Dampf unter dem Druck der Atmosphäre. Der äußere Luftdruck ist nun ersetzt durch den Druck einer künstlichen Atmosphäre, den man nach Belieben abändern konnte. Diese Atmosphäre hat ein bedeutendes Volumen und wird in constanter Temperatur erhalten, so daß ihre Elasticität während der Dauer eines Versuchs nicht merklich schwankt. Die Luft in dem Behälter EF wird mittelst der Druckpumpe comprimirt, um den zu den Versuchen verlangten Druck zu erhalten, der mit dem Quecksilbermanometer gemessen wird. Das Sieden des Wassers im Kessel ist so regelmäßig, wie wenn es unter dem gewöhnlichen Druck der Atmosphäre vor sich ginge. Die Versuche geschehen genau in derselben Weise, wie so eben aus einander gesetzt worden ist. Das Manometer wurde im Laufe eines Versuchs zweimal beobachtet, zuerst einige Augenblicke nach dem Oeffnen des Hahnes R und darauf einige Augenblicke nach dem Schließen desselben. Man nahm an, der Druck, unter welchem der Dampf destillirte, sei das Mittel aus diesen beiden Beobachtungen, die übrigens stets nur sehr wenig von einander abwichen. Das aus der Verdichtung des Dampfes entstandene Wasser, welches beim Oeffnen des Hahnes R mit Gewalt aus dem Calorimeter hervordrang, wurde im Kolben O gesammelt und gewogen. Die Zeit seines Ausfließens ist sehr kurz, und es muß daher einen geringeren Wärmeverlust erleiden, als bei den Versuchen, die unter atmosphärischem Druck geschehen. Dessen ungeachtet wurde angenommen, daß das Wasser bei diesem Umgießen etwa 0°,2 verliere, weil es einer neuen Quelle zum Wärmeverlust ausgesetzt war. Der Dampf nämlich, wenn er sich in einer comprimirten Luft verdichtet, löst von dieser Luft eine größere Menge, als das Wasser aufgelöst enthalten kann, wenn es in den Kolben gelangt. Es entwickelt sich demnach aus dem Wasser eine Menge kleiner Luftblasen, die es für einige Augenblicke milchig machen und nothwendig eine gewisse Wärmemenge fortschleppen. — Bis zu einem Druck von 10 Atmosphären ist der Gang der Versuche sehr leicht und merkwürdig regelmäßig, so daß die Resultate dieselbe Genauigkeit haben, wie die der unter gewöhnlichem Druck der Atmosphäre angestellten Versuche. Ueber 10 Atmosphären hinaus werden aber die Versuche schwieriger; man muß das Feuer unter dem Kessel sehr verstärken; die verschiedenen Theile des Apparates leiden bedeutend und man muß sie oft untersuchen, um sich zu vergewissern, daß sie nicht undicht werden. — Jeden Morgen goß man Wasser in den Kessel zurück,

welches am Tage zuvor überdestillirt worden und welches, mit dem darin gebliebenen, etwa 150 Liter ausmachte. Diese Wassermenge war, bei zweckmäßiger Leitung des Feuers, zu vier bis sechs auf einander folgenden Bestimmungen hinreichend. Dadurch, daß man viel destillirtes Wasser in den Kessel brachte, verhinderte man das Einkrusten des Kessels, welches sonst nach kurzer Zeit erfolgt sein würde. — Nach dem letzten Versuch an jedem Tage verschloß man, während im Kessel das Wasser noch siedete, den Hahn R_4 des Luftbehälters, um für den morgenden Tag die darin enthaltene comprimirte Luft zu bewahren. Man verlor also nur die kleine Menge comprimirter Luft, die im Condensator und in den Verbindungsröhren des Apparates enthalten war. Diese Luft entwich beim Oeffnen der Hähne r_1 der Calorimeter. Am anderen Morgen schrob man die Oeffnung des Kessels auf und brachte die nöthige Wassermenge hinein. — Die Versuche konnten bis zu einem Druck von 14 Atmosphären mit vollem Erfolge angestellt werden, wenn ab und zu die Fugen der Apparate wieder dicht gemacht wurden.

Nachstehende Tafel enthält die Resultate von 73 Versuchen, die bei Drucken bis zu 14 Atmosphären angestellt wurden. Es ist zu bemerken, daß t_0 die Anfangstemperatur, t_1 die Endtemperatur des Wassers bezeignet, $t_1 - t_0$ also die Zunahme der Temperatur dieses Wassers während des Versuchs.

Calorimeter	Wassergewicht des Calorimeters Grm.	$t_1 - t_0$ berichtigt	Condensirtes Wasser		Dampf		Gesammtwärme des Dampfes	Gesammtwärme des Dampfes weniger d. Temp. des Dampfes
			Gewicht Grm.	Temp.	Druck in Atmosphären	Temperatur		
C	66537,0	13°,519	1456,27	24°,68	1,905	119°,25	642,3	523,0
C	36,9	9,356	1000,48	19,72	1,924	119,16	641,8	522,2
C	37,4	11,678	1253,75	22,36	2,083	122,17	642,2	520,0
C	45,8	12,070	1282,58	18,12	2,293	125,2	643,9	518,7
C′	38,5	15,603	1669,45	21,73	2,327	125,5	643,6	518,1
C	45,8	12,387	1315,25	18,16	2,433	127,2	644,8	517,6
C′	38,5	14,246	1517,46	20,42	2,568	129,0	645,1	516,1
C	27,1	11,694	1247,20	25,27	3,007	134,4	649,0	514,6
C	26,6	11,811	1262,70	25,27	2,991	134,2	647,5	513,3
C	23,0	11,575	1234,23	24,83	3,072	135,1	648,5	513,4
C	23,0	11,635	1238,80	24,39	3,060	135,0	649,1	514,1
C	25,2	11,583	1235,50	23,96	3,080	135,2	647,6	512,4
C	45,4	12,998	1376,53	18,76	3,113	135,5	647,0	511,5
C′	38,5	14,033	1488,95	19,42	3,119	135,7	647,3	511,6
C′	38,7	15,459	1641,90	21,25	3,193	136,4	647,6	511,2
C	45,7	11,479	1212,75	17,59	3,288	137,5	647,4	509,9
C′	38,4	13,278	1407,72	19,69	3,313	137,7	647,2	509,5
C	45,6	11,504	1211,70	16,84	3,394	138,6	648,4	509,8
C	44,9	12,226	1287,05	17,32	3,739	142,0	649,2	507,2
C′	37,1	12,714	1339,02	17,29	3,764	142,2	648,9	506,7
C	41,4	12,248	1184,84	16,19	3,831	142,5	647,8	505,3
C′	37,9	12,870	1353,60	17,92	3,889	143,4	650,3	506,9
C	34,4	11,501	1221,20	22,95	4,003	144,3	649,4	505,1
C′	38,5	13,711	1445,32	18,74	4,013	144,3	649,7	505,4
C	28,3	11,735	1246,50	24,54	4,100	145,3	651,0	505,7
C	28,3	12,125	1291,00	25,12	4,116	145,4	649,9	504,5
C	27,6	12,271	1307,01	24,54	4,144	145,6	649,1	503,5

Calorimeter	Wassergewicht des Calorimeters Grm.	$t_1 - t_0$ berichtigt	Condensirtes Wasser		Dampf		Gesammtwärme des Dampfes	Gesammtwärme des Dampfes weniger d. Temp. des Dampfes
			Gewicht Grm.	Temperatur	Druck in Atmosphären	Temperatur		
C	66337,8	11°,434	1208,80	21°,79	4,241	146°,5	651,1	504,6
C	31,8	12,276	1305,50	24,13	4,373	147,6	649,6	502,0
C	33,0	11,276	1299,00	24,12	4,523	149,0	652,8	503,8
C	34,3	12,252	1296,48	23,96	4,692	150,2	652,6	502,4
C′	37,5	10,917	1144,95	15,59	4,109	153,5	650,1	496,6
C	44,6	14,233	1499,90	18,70	4,191	154,1	650,2	496,1
C	42,5	12,784	1338,14	15,84	5,335	155,1	651,3	496,2
C′	37,7	13,317	1402,45	18,36	5,352	155,2	650,0	494,8
C′	37,3	14,194	1490,45	18,59	5,353	155,2	652,0	496,8
C	43,2	12,534	1313,88	16,42	5,357	155,3	651,0	495,7
C	44,5	12,101	1260,90	17,32	5,415	155,7	651,4	495,7
C	41,0	13,028	1360,26	15,84	5,520	156,5	652,9	496,4
C	42,0	14,453	1518,13	18,16	5,616	157,1	651,4	494,3
C	41,4	14,238	1491,04	17,52	5,724	151,8	652,0	494,2
C	44,5	12,248	1280,25	16,71	6,109	160,3	653,1	492,8
C′	37,9	14,401	1509,65	18,89	6,123	160,4	653,4	493,0
C′	37,5	9,984	1038,70	14,77	6,344	161,8	654,1	492,3
C	45,5	12,351	1292,20	17,77	6,818	164,6	653,6	489,0
C′	38,6	13,947	1459,05	19,65	6,856	164,9	655,4	480,5
C	44,2	13,343	1390,60	17,14	8,062	171,6	655,5	483,9
C′	37,5	14,572	1522,15	19,07	8,273	172,6	655,8	483,2
C′	38,7	11,414	1190,38	17,52	8,287	172,6	655,3	482,7
C	45,7	11,912	1241,32	17,20	8,328	172,8	655,6	482,8
C′	37,5	14,657	1530,15	19,05	8,380	173,1	656,1	483,0
C	44,1	12,942	1347,65	17,20	8,423	173,4	656,0	482,6
C′	36,4	13,907	1449,30	17,73	8,524	173,9	655,9	482,0
C	43,9	12,990	1353,48	17,60	8,530	174,0	656,0	482,0
C	45,0	12,935	1347,95	17,71	8,819	175,3	656,1	480,8
C′	38,2	14,557	1520,88	19,57	8,853	175,5	656,1	480,6
C	43,8	14,099	1457,30	18,59	9,671	179,3	662,3	483,0
C	44,6	13,422	1387,83	18,59	9,759	179,6	662,2	482,6
C′	38,2	14,235	1471,35	19,20	9,764	179,6	662,7	483,1
C′	37,7	14,983	1552,06	20,00	9,822	180,0	662,2	482,2
C	45,4	12,943	1337,88	18,88	10,600	183,2	662,4	479,2
C′	38,6	14,271	1478,64	20,77	10,666	183,5	662,8	479,3
C′	38,6	13,671	1413,98	19,75	10,699	183,7	662,8	479,1
C	45,4	15,549	1614,90	20,92	10,708	183,7	661,8	478,1
C′	38,5	14,203	1465,93	20,22	11,250	186,0	664,5	478,5
C	45,4	13,951	1440,52	20,42	11,267	186,0	664,9	478,9
C′	38,4	14,872	1537,38	20,60	11,744	187,9	664,4	476,5
C	44,9	14,314	1474,39	19,75	11,830	188,2	665,6	477,4
C′	38,4	15,619	1617,02	21,73	11,848	188,2	664,2	476,0
C	45,5	13,830	1427,75	21,66	13,344	193,8	666,0	472,2
C	44,4	14,272	1479,00	22,13	13,412	194,2	664,3	470,1
C′	38,4	16,272	1565,73	23,23	13,595	194,7	665,4	470,7
C	45,8	14,139	1456,67	20,48	13,625	194,8	666,0	471,2

Die letzte Columne entstand, indem von der Gesammtwärme des Dampfes die Temperatur desselben abgezogen wurde. Diese Temperatur ist die des Luftthermometers, berechnet aus dem in Millimetern beobachteten Druck (der hier in der Tafel weggelassen wurde), dem übrigens, wie dem in Atmosphären angegebenen (der in der Tafel beibehalten ist), schon der am Barometer abgelesene atmosphärische Druck hinzugefügt ist.

Endlich stellte Regnault noch Versuche an über die Gesammtwärme des Dampfes unter Drucken, geringer als der der Atmosphäre. Die Druckpumpe wurde durch eine Saugpumpe ersetzt und damit der Behälter EF so weit geleert, bis man den Druck erhalten hatte, unter welchem man die Bestimmungen machen wollte. Die Anstellungsweise der Versuche war die frühere, allein die Temperatur des aus der Verdichtung entstandenen Wassers konnte nicht mehr direct gemessen werden, weil sich dies Wasser nicht eher aus dem Calorimeter abzapfen ließ, als bis man Luft hineingelassen hatte.

Man war genöthigt anzunehmen, das Wasser habe im Moment des Aufzeichnens der Maximumtemperatur gleiche Temperatur, wie das des Calorimeters. Den aus dieser Hypothese etwa entspringenden Fehler verringerte man indeß beträchtlich dadurch, daß man die Erkaltung des Calorimeters die ersten 10 Minuten nach der Beobachtung des Maximums verfolgte und diese Erkaltung mit der verglich, die während der nächsten zehn Minuten stattfand. Der Unterschied zwischen den beiden beobachteten Resultaten mußte sehr nahe die Wärmemenge geben, welche das verdichtete Wasser fortfuhr dem Wasser des Calorimeters abzutreten, und man konnte annehmen, daß nun das verdichtete Wasser gleiche Temperatur mit dem umgebenden Wasser besitze. Bei jedem Paare von Versuchen schloß man den Hahn R_1 des Luftbehälters EF und ließ Luft sowohl in den Condensator als in den Dampfkessel treten; endlich sammelte man in dem Kolben o das in jedem Calorimeter verdichtete Wasser und wog es. Das Sieden des Wassers ist unter schwachen Drucken weit unregelmäßiger als unter starken; es erfolgt immer unter Aufstoßen und die Thermometer des Kessels zeigen bedeutende Temperaturveränderungen an, je nachdem die Destillation mehr oder weniger lebhaft ist. Ueberhaupt zeigt sich bei diesen Versuchen ein ziemlich großer Druckunterschied zwischen dem Dampfe des Kessels und der Luft der künstlichen Atmosphäre. Da der Dampf nur eine sehr geringe Dichtigkeit hatte, so war man genöthigt, ihn mit vieler Geschwindigkeit eintreten zu lassen, damit der Versuch nicht zu lange dauerte. Die Heizung des Kessels geschah bei diesen Versuchen nicht mit Coaks oder Steinkohle, sondern mit Holzkohle, wobei sie leichter gehörig zu reguliren ist.

Folgende Tafel enthält die Resultate von 23 Versuchen, die unter Drucken von 0,64 bis 0,22 Atmosphären angestellt wurden. In der zweiten Columne sind die Ueberschüsse über 66500 Grm. eingetragen.

Calorimeter	Wassergewicht des Calorimeters	$t_1 - t_0$ berichtigt	t_1	Gewicht des verdichteten Wassers	Druck des Dampfes	Temperatur des Dampfes berechnet	Temperatur des Dampfes beobachtet	Gesammtwärme des Dampfes	Gesammtwärme des Dampfes weniger d. Temp. des Dampfes
	Grm.			Grm.	mm				
C'	38,2	12,836	19°,62	1390,85	488,75	88°,11	87°,96	633°,4	545°,3
C	45,4	11,277	17,90	1219,25	483,31	87,83	87,63	633,1	545,3
C'	37,8	13,204	20,33	1444,50	449,84	85,97	86,04	628,4	542,0
C'	38,5	12,898	19,21	1404,00	437,16	85,24	85,41	628,6	543,4
C	45,3	11,787	18,64	1278,98	436,62	85,20	85,32	631,7	546,5
C	45,6	11,473	17,74	1246,65	430,93	84,88	85,68	629,9	545,0
C	40,0	11,947	22,53	1310,63	401,40	83,08	83,61	628,9	545,8
C'	34,9	12,628	21,63	1378,34	394,92	82,66	82,98	631,0	548,3
C	42,4	12,229	21,05	1338,45	369,80	81,03	81,42	628,8	547,8
C	34,4	11,320	22,31	1243,87	363,36	80,60	83,18	627,7	547,1
C	35,0	11,219	22,14	1230,15	360,12	80,37	81,08	628,8	548,4
C	43,5	11,424	19,44	1244,23	357,13	80,17	80,63	630,2	550,0
C	43,5	9,024	17,01	979,10	348,22	79,55	79,29	630,1	550,5
C'	38,1	10,754	17,67	1174,26	330,63	78,28		627,0	548,7
C	45,3	13,330	20,20	1457,37	307,17	70,50	79,76	628,6	552,1
C'	38,1	13,277	20,28	1462,02	247,07	71,35	72,60	624,4	553,0
C'	38,2	11,471	18,28	1264,00	244,55	71,11	72,85	622,2	551,1
C	45,3	11,835	18,69	1294,22	238,09	70,49	71,97	626,9	556,4
C	45,3	12,412	19,17	1359,50	230,17	69,70	70,77	626,4	556,7
C'	38,4	12,618	19,12	1390,98	213,72	68,01	70,41	622,5	554,5
C	45,5	11,826	18,23	1297,23	198,10	66,30	68,03	624,7	558,4
C'	38,4	12,926	19,58	1424,83	181,47	64,34	67,78	622,9	558,6
C	45,5	11,711	18,25	1284,34	170,91	63,02	65,38	625,5	562,5

Vergleicht man die fast unter gleichem Drucke gemachten Versuche mit einander, so sieht man, daß sie zwar etwas größere Unterschiede als die in der vorhergehenden Tafeln zeigen, daß aber nur ein einziger diese Unterschiede 4,7, d. h. etwa $^1/_{130}$ der zu messenden Größe erreicht.

Regnault hat nicht gesucht, mit seinem großen Apparate die Gesammtwärme des Dampfes unter kleineren Drucken als 0,2 Atmosphäre zu bestimmen, weil das Sieden des Wassers unter so kleinen Drucken sehr unregelmäßig ist. Da es indeß, besonders für das Studium der meteorologischen Phänomene, wünschenswerth war, diese Wärmemenge unter schwachen Drucken genau zu kennen, so hat er folgenden Weg gewählt.

Statt die Wärmemenge zu bestimmen, die ein bekanntes Gewicht Dampf bei Sättigung unter bestimmtem Drucke, bei seiner Verdichtung dem kalten Wasser eines Calorimeters abgiebt, wurde die Wärmemenge aufgesucht, die ein bekanntes, in den Recipienten eines Calorimeters gebrachtes Gewicht Wasser diesem Calorimeter raubt, sobald es unter sehr schwachem Drucke verdampft.

Zu dem Ende hat sich Regnault eines kleinen messingenen Calorimeters bedient, ähnlich dem von Brix angewandten (s. oben S. 57), nur von etwas größeren Dimensionen. Es wurde gewogen, erstlich leer, und dann, nachdem mit einer Pipette etwa 5 Grm. destillirten Wassers in den Recipienten gebracht worden. Dadurch erfuhr man genau die Menge des zu verdunstenden Wassers. Man verband den Recipienten durch seine Tubulatur mit einer Flasche, die als Luftbe-

hälter diente und verknüpfte diese wiederum einerseits mit einer Luftpumpe und andererseits mit einem Quecksilbermanometer. — Die als künstliche Atmosphäre dienende Flasche war in ein Kältegemisch von Eis und Kochsalz getaucht. Hierauf goß man ein bestimmtes Volumen Wasser von bekannter Temperatur in das Calorimeter, verschloß dasselbe mit seinem Deckel und stellte in die Axe des Behälters ein sehr empfindliches Thermometer. — Man begann damit, die Erkaltung oder Erwärmung des im Calorimeter befindlichen Wassers, unter fortwährendem Umrühren desselben, fünf Minuten lang zu beobachten. Damit das Erkalten regelmäßig geschähe, hatte man das Calorimeter concentrisch in ein etwas größeres Blechgefäß gestellt, welches es vor zufälligen Luftströmen schützte. Durch rasches Auspumpen verringerte man nun die Elasticität der inneren Luft auf einen bestimmten am Manometer abgelesenen Werth, der nothwendig geringer sein mußte, als die Spannkraft des Wasserdampfes bei der Temperatur des Calorimeters. Sogleich begann die Destillation des im Recipienten des Calorimeters enthaltenen Wassers, indem sich der Dampf in der erkalteten Flasche verdichtete. Man beobachtete die Temperatur des Calorimeters unter fortwährendem Umrühren seines Wassers von Minute zu Minute, und las zugleich die Spannkraft am Manometer ab. — Man erkennt sogleich den Moment, wo das Wasser des Recipienten vollständig überdestillirt ist, weil dann das Sinken des Thermometers plötzlich einhält; eine sehr kurze Zeit bleibt die Temperatur stillstehend und darauf steigt sie langsam, wenn die Temperatur des Wassers im Calorimeter geringer ist, als die der Umgebung. Ebenso erkennt man das Ende der Destillation am Manometer, weil dieses dann plötzlich um eine kleine Größe steigt. — Nun beobachtete man abermals das Steigen oder Sinken des Thermometers fünf Minuten lang. Combinirt mit dem Beobachten der Erkaltung während der fünf Minuten vor der Destillation, gab diese Beobachtung die Elemente, mittelst deren man die für die Endtemperatur nöthige Berichtigung streng ermitteln konnte, um so die Wärme, welche das Calorimeter während des Versuchs durch die umgebende Luft verloren oder gewonnen hatte, in Rechnung zu ziehen.

Folgende Tafel enthält alle 22 nach diesem Verfahren angestellten Versuche.

Gew. des verdampften Wassers m	Gew. des Wassers im Calorimeter M	Temperatur des Calorimeters anfangs t_0	Temperatur des Calorimeters zuletzt t_1	$t_0 - t_1$ berichtigt	Mittl. Druck bei der Destillation f	Temp. bei der der Dampf die Spannkraft f besaß	Dauer der Destillation	Wärme absorb. vom verdampften Wasser X	Gesammte Wärme $X + t_0$
Grm.	Grm.				mm				
5,250	542,0	9°,21	3°,55	5°,748	4,5	— 0°,2	11'	592,3	601,5
5,180	541,8	12,17	6,34	5,713	3,9	— 2,1	7	596,7	608,9
5,127	541,8	12,44	7,16	5,624	4,6	0	9	593,4	605,8
5,170	541,4	15,47	10,09	5,723	7,7	+ 7,4	10	599,0	614,5
5,262	541,3	16,57	10,95	5,845	8,3	+ 8,5	10	597,0	613,5
5,127	541,3	16,17	10,82	5,642	7,8	+ 7,6	9	595,3	611,5
5,178	541,0	18,74	13,26	5,592	9,0	+ 8,6	11	584,3	603,0
5,240	541,0	19,22	13,68	5,675	10,3	+ 11,8	10	585,9	605,1
5,220	541,0	19,21	13,63	5,738	7,8	+ 7,6	7	594,6	613,8
5,252	541,0	20,20	14,60	5,725	11,9	+ 14,0	11	589,7	609,9
5,152	541,0	20,31	14,82	5,557	10,0	+ 11,4	8	582,4	602,7
5,242	540,9	21,48	15,90	5,744	11,5	+ 13,5	12	592,8	614,3

Gew. des verdampften Wassers m	Gew. des Wassers im Calorimeter M	Temperatur des Calorimeters		$t_0 - t_1$ berichtigt	Mittl. Druck bei der Destillation f	Temp. bei der der Dampf die Spannkraft f besaß	Dauer der Destillation	Wärme absorb. von verdampften Wasser X	Gesammte Wärme $X + t_0$
		anfangs t_0	zuletzt t_1						
Grm.	Grm.				mm				
5,271	540,8	21°,72	16°,01	5°,761	6,6	+ 5°,2	5′	590,2	611,9
5,221	540,8	21,71	16,04	5,717	5,3	+ 2,0	4	591,3	613,0
5,200	540,4	23,05	17,40	5,694	12,4	+ 14,7	8	592,4	615,4
5,250	540,4	23,54	17,85	5,697	8,3	+ 8,5	4	587,1	610,6
5,195	540,3	22,81	18,17	5,626	8,3	+ 8,5	4	585,9	609,7
5,162	540,3	24,09	18,49	5,605	8,6	+ 9,0	4	587,4	611,5
5,216	540,3	24,10	18,43	5,676	8,5	+ 8,9	4	587,6	611,7
5,192	540,1	26,40	21,72	6,641	13,6	+ 16,1	6	586,7	613,1
5,085	540,0	27,57	22,00	5,523	8,3	+ 8,6	4	586,5	614,1
5,207	539,9	28,16	22,45	5,705	7,2	+ 6,4	3	591,6	619,7

Wichtig, sagt Regnault, ist zu bemerken, daß die in dieser Tafel enthaltenen Versuche unter sehr verschiedenen, oft für die Genauigkeit der Resultate sehr ungünstigen Umständen angestellt wurden. Man würde sicherlich weniger große Schwankungen in den Gesammtwärmen angetroffen haben, wenn man im Gegentheil die Umstände immer möglichst ähnlich zu machen gesucht hätte. Regnault meint, man würde sich nicht sehr von der Wahrheit entfernen, wenn man annähme, die Gesammtwärme des Wasserdampfes, der im Sättigungszustande unter einem Drucke von 9^{mm},16 entwickelt wird, welcher der Temperatur von 10° C. entspricht, betrage 610 Einheiten. Für Wasser von 0° würde die Gesammtwärme nur einige Einheiten kleiner sein.

Die aus den Versuchsweisen, welche wir angeführt haben, sich ergebenden Resultate lassen eine Prüfung der mehr erwähnten Gesetze von Watt und Southern zu. Wäre das Watt'sche Gesetz richtig, d. h. wären die Wärmemengen, welche man einem Kilogramm flüssigen Wassers von 0° zu seiner Verwandlung in Dampf ertheilen muß, gleich für jeden Druck, so müßten die Angaben für diese Wärmemengen, welche die Spalte der mitgetheilten Tafeln unter der Ueberschrift „Gesammtwärme des Dampfes" angiebt, sich gleich sein, es könnten nur aus den Fehlern der Versuche sich ergebende Schwankungen diese Angaben verändern. Dagegen sieht man, daß diese Zahlen mit dem Drucke vollkommen regelmäßig wachsen, von 610 an, dem Werthe der Gesammtwärme des Wasserdampfes unter einem Drucke von 0,01 Atmosphäre ($8,3^{mm}$ in der letzten Tafel), bis zu 666, dem Werthe derselben Größe unter dem Drucke von 13,6 Atmosphären (s. Tafel S. 80). Wäre das Southern'sche Gesetz richtig, d. h. wäre die Gesammtwärme weniger der sensiblen, die eigentliche sogenannte latente Verdampfungswärme, unter allen Drucken dieselbe, so müßten die Angaben der letzten Spalten auf den Tafeln S. 80 und S. 82 sich gleich sein. Dieselben nehmen aber stufenweise ab von 560, welche Zahl dem Drucke von 0,2 Atmosphären entspricht, bis zu 471, welche dem Drucke von 13,6 Atmosphären angehört. Wie man sieht, so entfernt sich das Southern'sche Gesetz von den Resultaten der Beobachtung noch viel weiter, als das Watt'sche.

Das richtige Gesetz aufzustellen scheint Regnault gegenwärtig noch unmöglich, da zu dessen Bestimmung noch nicht alle Voruntersuchungen vorhanden sind; namentlich müßte man das Gesetz kennen, welches die Dichtigkeiten des gesättigten und nicht gesättigten Dampfes unter verschiedenen Drucken und bei verschiedener Temperatur regelt. Regnault nimmt daher zur Bestimmung der Gesammtwärme folgende empirische Formel vorläufig an:

$$\lambda = 606,5 + 0,305\ T.$$

Nach dieser Formel ist die Gesammtwärme (λ), welche in einem Kilogramm gesättigten Wasserdampfes von der Temperatur T enthalten ist, gleich der Wärmemenge, die ein Kilogramm gesättigten Wasserdampfes von 0° beim Uebergange in flüssiges Wasser von 0° abgiebt (606,5), vermehrt um das Product 0,305 T. Der Bruch 0,305 ist demnach eine „eigenthümliche Wärmecapacität" des Wasserdampfes, verschieden von den Wärmecapacitäten der Gase bei constantem Volumen oder bei constantem Drucke, aber innigst verbunden mit diesen. Es ist die Wärmemenge, die man einem Kilogramm gesättigten Wasserdampfes ertheilen muß, um seine Temperatur um 1° C. zu erhöhen, sobald man zugleich diesen Dampf zusammendrückt, damit er im Sättigungszustande verbleibe.

Mittelst der angegebenen Formel hat nun Regnault folgende Tafel berechnet.

Temperaturen des gesättigten Dampfes	Entsprechende Spannkräfte in Millimetern	Entsprechende Spannkräfte in Atmosphären	Gesammtwärme
0°	4,60	0,006	606,5
10	9,16	0,012	609,5
20	17,39	0,023	612,6
30	31,55	0,042	615,7
40	54,91	0,072	618,7
50	91,98	0,121	621,7
60	148,79	0,196	624,8
70	233,09	0,306	627,8
80	354,64	0,466	630,9
90	525,45	0,691	633,9
100	760,00	1,000	637,0
110	1075,37	1,415	640,0
120	1491,28	1,962	643,1
130	2030,28	2,671	646,1
140	2717,63	3,576	649,2
150	3581,23	4,712	652,2
160	4651,62	6,120	655,3
170	5961,66	7,844	658,3
180	7546,39	9,929	661,4
190	9442,70	12,425	664,4
200	11688,96	15,380	667,5
210	14324,80	18,848	670,5
220	17390,36	22,882	673,6
230	20926,40	27,535	676,6

Bei der Wichtigkeit, welche die Bestimmung der latenten Wärme des Wasserdampfes, namentlich auch für die Technik hat, stelle ich im Nachfolgenden die Bestimmungen über dieselbe, wie sie von verschiedenen namhaften Physikern für die Siedetemperatur gegeben worden, zusammen:

Die latente Wärme des Wasserdampfes beträgt

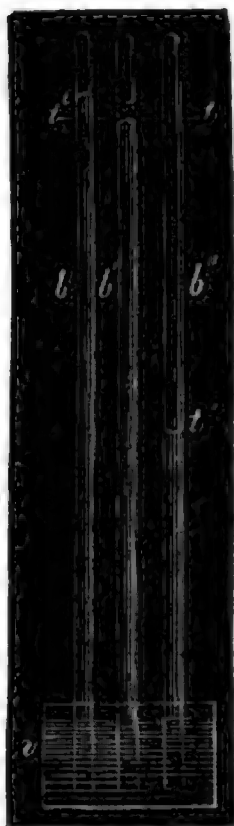
nach	Black	443°,8 C.
„	Black und Irwine . .	430
„	Watt (1765)	666
„	„ (1781)	525,2
„	„ (corrig.)	533,3
„	Klaproth und Wolff .	564
„	Parrot	423,8
„	Lavoisier und Laplace .	555
„	Gay-Lussac*) . . .	550
„	Rumford	570,8
„	Ure**)	537,5
„	Dulong	540
„	Despretz	531
„	Demselben	540
„	Brix	540
„	Regnault	536,4
„	Favre und Silbermann	536
„	Andrews	535,9

Um sich im Allgemeinen von der Elasticität der Dämpfe zu überzeugen, kann man folgenden Versuch anstellen ***), bei dem sich die Dämpfe bei gewöhnlicher Lufttemperatur entwickeln und sogleich eine bedeutende Quecksilbersäule tragen. Man bedient sich zweier verbundener Glasröhren TT, FA, wie nebenstehende Fig. zeigt, deren eine TT oben ganz offen bleibt, die andere, FA mit einem Hahne y oben geschlossen werden kann. Füllt man nun, indem man den oberen Ansatz ganz abschraubt, beide Röhren bis an Hh mit Quecksilber, so steht dieses gewiß in beiden Röhren gleich hoch, weil der freie Luftdruck auf beide Oberflächen stattfindet, und eben das dauert fort, wenn man das obere Stück mit dem schließenden Hahne wieder aufschraubt. Dieser Hahn y, der gar keine Bohrung hat, dient bei jeder Stellung, um das kleine oberhalb y befindliche Gefäß von der Röhre FA abzusperren; aber seine Fassung hat

*) Auch Clement und Desormes sollen diese Zahl 550 gefunden haben. Biot traité de phys. T. IV. p. 713.

**) Ausdruck der Wärmemenge, welche ein Kilogramm Wasser 0° aufnimmt, um sich unter 760 Millim. Druck in gesättigten Dampf zu verwandeln = 637,5 (nämlich mit Zurechnung der freien Wärme von 100°). Philos. Transact. f. 1818 p. 385. Brix berichtigt diese Zahl auf Grund von Ure's Versuchen auf 593,4. Vergl. Poggend. Ann. Bd. LV. S. 35.

***) Vergl. Brandes, Vorlesungen über die Naturlehre 2. Ausg. S. 635.



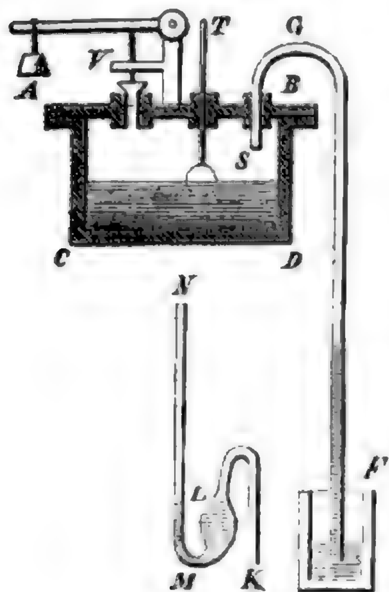
sowohl nach oben als gegen A zu eine Oeffnung, und in der, übrigens genau cylindrischen, Oberfläche des Hahnes befindet sich eine genau unter die Oeffnung des oberhalb Y befindlichen Gefäßes V passende Vertiefung, damit, wenn das Gefäß mit einer Flüssigkeit, z. B. Schwefeläther gefüllt ist, und diese Vertiefung nach oben gewendet ist, auch sie einen Tropfen eben jener Flüssigkeit aufnehme. Wird nun der Hahn in seiner genau schließenden Fassung gedreht, so daß der in der Höhlung aufgefaßte kleine Tropfen auf die untere Seite des Hahnes, also vor die nach der Röhre AF gehende Oeffnung kommt, so verdampft er und diese Dämpfe füllen die Röhre AF; sogleich aber steigt auch das Quecksilber in der anderen Röhre, während es in AF herabgedrückt wird, und man sieht deutlich, daß die Elasticität der Dämpfe stark genug ist, um selbst bei mäßiger Temperatur eine erhebliche Quecksilbersäule zu tragen.

In dem so eben betrachteten Experimente vermischt sich der sich bildende Dampf sogleich mit der atmosphärischen Luft, welche schon in dem Gefäße AF über H vorhanden ist, bevor die zur Verdampfung bestimmte Flüssigkeit hineingebracht wird. Man lernt also durch die Hebung der Quecksilbersäule in TT′ nur die Wirkung einer Mischung von Dampf und Luft kennen. Die Wirkung des Dampfes allein würde man haben, wenn der Raum, welcher den erzeugten Dampf aufnimmt, vorher luftleer gewesen wäre. Dies ist bei dem folgenden Versuche der Fall, wenigstens annäherungsweise, denn allerdings ist auch die Torricelli'sche Leere des Barometers keine vollkommene Leere, sondern mit Quecksilberdämpfen erfüllt. In einem mit Quecksilber zum Theil gefüllten Gefäße v (s. beistehende Figur) stehen drei Barometerröhren b, b′ und b″ (vergl. den Art. Barometer Bd. I. S. 656). In allen dreien stehe das Quecksilber gleich hoch, in der Höhe von c. Wir wissen, der Druck der atmosphärischen Luft gegen die Oberfläche des Quecksilbers in dem Gefäße v ist so groß, daß er eine Quecksilbersäule von derjenigen Höhe tragen kann, welche durch die Entfernung von c bis zum Niveau des Quecksilbers in v gegeben ist. Bringt man nun mit Hülfe einer gekrümmten Pipette etwas Wasser in die mittlere Röhre b′, so steigt dasselbe in dem Quecksilber der Röhre empor bis in die Torricelli'sche Leere. Hier verdampft es sogleich zum Theil, und sogleich sinkt das Niveau der Quecksilbersäule in der Röhre b′ um einige Millimeter bis t. Es wird sich nämlich so viel Wasser in Dampf verwandeln als genügt, um bei der eben herrschenden Temperatur und unter dem eben vorhandenen Luftdrucke hinreicht den gegebenen Raum im Maximum der Dichtigkeit zu erfüllen. Das Wasser, welches man bei diesem Versuche anwendet, muß durch Kochen vorher von Luft befreit sein, damit man sicher sei, daß nicht mit und im Wasser aufsteigende Luft auf die Depression von Einfluß sei. Aus der Größe der Depression (der Anzahl von Millimetern, um welche die Quecksilbersäule sinkt) kann man einen directen Schluß auf die Größe der Spannkraft des unter den gegebenen Verhältnissen sich bildenden Wasserdampfes machen. Wenn z. B. in dem Barometer b′ nach der Operation die Quecksilbersäule um 15 Millimeter (= tc) niedriger steht, als in dem unversehrten Barometer b, so weiß man, daß der Druck des

erzeugten Dampfes auf die Oberfläche des Quecksilbers in b' gleich komme dem Drucke einer Quecksilbersäule von 15 mm Höhe. Man hat also in den abgelesenen 15 mm ein directes Maß für die Spannkraft des Wasserdampfes in dem beschriebenen Falle. Bringt man hierauf in die dritte Barometerröhre b'' auf gleiche Weise eine andere Flüssigkeit, so wird auch diese ganz in derselben Weise durch Bildung von Dampf auf die Quecksilbersäule in der Röhre wirken. Es wird Depression der Quecksilbersäule stattfinden. Nimmt man z. B. Schwefeläther, so wird man finden, daß die Depression viel stärker ist als beim Wasser, das Quecksilber sinkt bis t'. Man sieht also, daß die Spannkraft des Schwefeläthers gleich ist dem Drucke einer Quecksilbersäule von der Höhe t'c.

Durch die großartige Anwendung, die man von der elastischen Kraft der Dämpfe im Maschinenbau gemacht hat, ist man veranlaßt worden, die Elasticität des Dampfes, namentlich des Wasserdampfes, bei den verschiedenen Temperaturen genauer zu untersuchen. Man bestimmt im Allgemeinen die Elasticität des Dampfes in der eben angegebenen Weise nach der Länge der Quecksilbersäule, die derselbe zu tragen im Stande ist, oder wohl auch nach der Anzahl von Atmosphären, welche nöthig sein würde, um dem Dampfe von einer bestimmten Temperatur das Gleichgewicht zu halten. Diese Bestimmung läuft auf dasselbe hinaus, wie die erste, insofern die Länge der Quecksilbersäule im richtigen Barometer als Eine Atmosphäre gerechnet wird. Bei derartigen Versuchen zu genauer Bestimmung der Elasticität des Dampfes kommt es vorzugsweise darauf an, den Dampf rein, also nicht mit atmosphärischer Luft gemischt zu erhalten, ferner denselben im Zustande größter Dichte anzuwenden, weshalb also die tropfbare Flüssigkeit, deren Dampf untersucht werden soll, im Ueberschusse vorräthig sein muß.

Es wird nöthig sein, die vorzüglichsten Apparate, welche zu Untersuchung der Elasticität angewandt sind, die Art und Weise, wie bei den Versuchen damit verfahren wurde, und endlich die Resultate jener Untersuchungen anzugeben.



Robison's Apparat*) bestand bei den ersten Versuchen in einem kleinen kupfernen Digestor ABCD, wie beistehende Figur zeigt, der oben ein zur Hälfte eingesenktes Thermometer T, und ein Ventil V hat, welches mit einem Gewichte A beladen ist. In einer dritten Oeffnung bei B ist eine Barometerröhre SGF eingesenkt, welche dazu dient, die Kraft des Dampfes bei Temperaturen unter der des siedenden Wassers zu messen. Bei Temperaturen über 100° C. wurde die Kraft des Dampfes durch eine Schnellwage auf dem Ventile gemessen, und an die Stelle der Röhre SGF wurde ein Stöpsel gebracht, aber die so gewonnenen Resultate waren unregelmäßig und ungenügend. Daher brachte man die gläserne Röhre KLMN in den Digestor, welche bei L eine Bauchung für das Quecksilber hat; und statt mit dem

*) Nach Tredgold, traité des mach. à vapeur traduit de Mellet. Ed. II. Encycl. Brit. Ed. 2. T. XVII. p. 739. Mech. philos. T. II. p. 23.

Ventile die Kraft zu messen, wurde diese nach der Erhebung des Quecksilbers in der Röhre MN bestimmt. Der Digestor wurde durch eine Lampe erhitzt. Um den Druck bei Temperaturen unter 100° C. zu bestimmen, wurde die Röhre SGF wie in der Figur angebracht, und ein Gefäß mit Quecksilber bei F bereit gehalten. Die Lampe begann zu wirken, das Wasser des Digestors erzeugte Dampf, bis dieser durch das Ventil und die Röhre F entwich und auf diese Weise die Luft austrieb. Wurde darauf die Lampe hinweggenommen, und das Ventil sowohl, als die Röhre (diese durch Einsenkung in das Quecksilbergefäß bei F) geschlossen, so erhob sich das Quecksilber in der Röhre GF in dem Maße, in welchem der Apparat erkaltete, und man merkte die den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Höhen an. Aehnliche Beobachtungen wurden angestellt, wenn man den Apparat wieder erwärmte. — Um die Elasticität des Dampfes bei höheren Temperaturen schätzen zu können, fügte man das Ende K der Röhre MNK in die Oeffnung B; und in dem Maße, in welchem die Temperatur zunahm, bestimmte der Druck des Dampfes in der Bauchung L die Erhebung des Quecksilbers, und gab so das Mittel zur Messung der Elasticität des Dampfes. Gegen diese Art zu experimentiren läßt sich einwenden, daß wegen der Temperaturveränderung das Quecksilber ebenfalls einer fortwährenden Veränderung unterworfen sei, und folglich auf seiner Oberfläche bald Condensation, bald Erzeugung von Dampf veranlassen werde. Bei jeder Beobachtung hätte in der ganzen Ausdehnung des Apparates die Temperatur dieselbe sein sollen, und deswegen mußte die die Drucke anzeigende Säule auf die mittlere Temperatur reducirt werden. Dies scheint jedoch nicht geschehen zu sein. Die Resultate der Robison'schen Beobachtungen sind in der später folgenden Tabelle angegeben.

Dalton's *) Versuche wurden nach einem andern Plane angestellt. Er nahm eine vollkommen ausgetrocknete Barometerröhre, und füllte sie mit siedendem Quecksilber, indem er den Punkt bezeichnete, wo dieses stillstehen blieb; darauf theilte er die Röhre mittelst einer Feile in Zolle und Zehntel eines Zolles. Er brachte in die Röhre eine kleine Quantität Wasser (oder überhaupt der zu untersuchenden Flüssigkeit), so daß sie nur die Wände benetzte; hierauf stürzte er die Röhre in das Quecksilber um, indem er sie sorgfältig wendete, um alle Luft zu vertreiben. Nachdem das Barometer hergestellt war, erhob sich ein Theil der Flüssigkeit, ungefähr $^1/_8$ oder $^1/_{10}$ Zoll an den Seiten der Röhre bis zum Gipfel der Quecksilbersäule. Darauf nahm er eine andere cylindrische Röhre von Glas, welche an beiden Enden offen war, 2 Zoll im Durchmesser und 14 Zoll in der Länge maß. Beide Enden dieser Röhre waren mit Stöpseln versehen, die in der Mitte durchbohrt waren, so daß der Barometerröhre mit strenger Reibung Zutritt verstattet war. Der obere Stöpsel war 2 oder 3 Zoll unter dem Gipfel der Röhre befestigt und zur Hälfte abgeschnitten, um die Flüssigkeit durchzulassen; er sollte nur zur Befestigung der Röhre dienen. Nun konnte Wasser von einer bestimmten Temperatur in die weite Röhre gegossen werden, so daß es den oberen Theil der Leere des Barometers umgab. Im Innern der Barometerröhre wurde durch diese Erwärmung die über der Quecksilbersäule befindliche Flüssigkeit in Dampf umgewandelt, und der Druck dieses Dampfes nach der dadurch bewirkten Herabdrückung

*) Memoirs of the liter. and phil. Soc. of Manchester 1805. Vol. V. p. 535. — Gilb. Ann. Bd. XV. S. 1. — Brugnatelli G. Dec. II. T. II. p. 187.

der Quecksilbersäule gemessen. Dalton goß so Wasser bis zur Temperatur von 70° C. in die Röhre, bei höheren Temperaturen hätte der gläserne Apparat Schaden leiden können, und er bediente sich daher bei diesen eines anderen Apparates. Er nahm nämlich eine Röhre von Zinn, welche 4 Zoll Durchmesser und 2 Fuß Länge hatte, an deren einem Ende eine kreisförmige zinnerne Platte angelöthet war. Diese trug in ihrer Mitte eine runde Röhre, eine kleinere und an beiden Seiten offene Röhre von derselben Länge wurde so eingelöthet, daß die Axe derselben mit der Axe jener zusammenfiel. Nun konnte in die größere Röhre Wasser gefüllt werden, während die innere Röhre der Temperatur desselben ausgesetzt war. In die innere Röhre befestigte Dalton mittelst eines Stöpsels die obere Hälfte eines Heberbarometers, während auch die obere Oeffnung der kleinen Röhre geschlossen war. Auf diese Weise konnte er die Wirkung einer 100° C. übersteigenden Temperatur schätzen, indem die Herabdrückung der Quecksilbersäule aus dem Steigen derselben in dem außerhalb sich befindenden Theile des Hebers erkannt wurde.

Dalton bemerkte übrigens, daß die Kraft des Wasserdampfes zwischen 25° und 100° C. auch mittelst einer Luftpumpe bestimmt werden kann, und die so gewonnenen Resultate stimmten sehr wohl mit denen überein, die mit dem eben beschriebenen Apparate gewonnen worden waren. Man nehme eine zur Hälfte mit warmem Wasser gefüllte Flasche, und senke darein die Kugel eines Thermometers; bedecke das Ganze mit einem Recipienten auf einem der Teller der Maschine, auf den andern setze man ein Manometer; wird nun die Luft langsam ausgepumpt, und der Stand des Manometers und des Thermometers in dem Augenblicke, wo das Wasser zu sieden beginnt, angemerkt, so wird der Stand des ersteren die Kraft des Wasserdampfes bei der beobachteten Temperatur anzeigen. — Die Resultate der Versuche, welche Dalton angestellt hat, siehe in der folgenden Tabelle.

Aus dem Sieden des Wassers unter dem Recipienten der Luftpumpe suchten auch Achard*) und Gren**) die Spannkraft des Wasserdampfes zu bestimmen. Magnus***) bemerkt, daß diese Versuche nur annähernd genaue Resultate geben können, weil, wenn Wasser unter der Luftpumpe kocht, die Temperatur desselben eben so wie die Spannkraft der Dämpfe beständig abnimmt. Ganz sichere Resultate würden dagegen nach Magnus Ansicht die Bestimmungen des Kochpunktes auf hohen Bergen geben. Aber wir besitzen nur wenige brauchbare derartige Beobachtungen.

Ure†) bediente sich bei Temperaturen unter oder wenig über dem Siedepunkte eines Apparates, den Fig. I. auf umstehender Seite vorstellt. Fig. II. u. III. stellen die bei höheren Temperaturen angewandten Apparate vor, von denen der letztere als der geeignetere erscheint. — Der Apparat wurde an der Decke eines hohen Fensters aufgehängt, und die Röhre LD in eine genaue verticale Stellung gebracht. Die Versuche gründen sich alle auf das Princip, daß die steigende Zunahme der elasti-

---

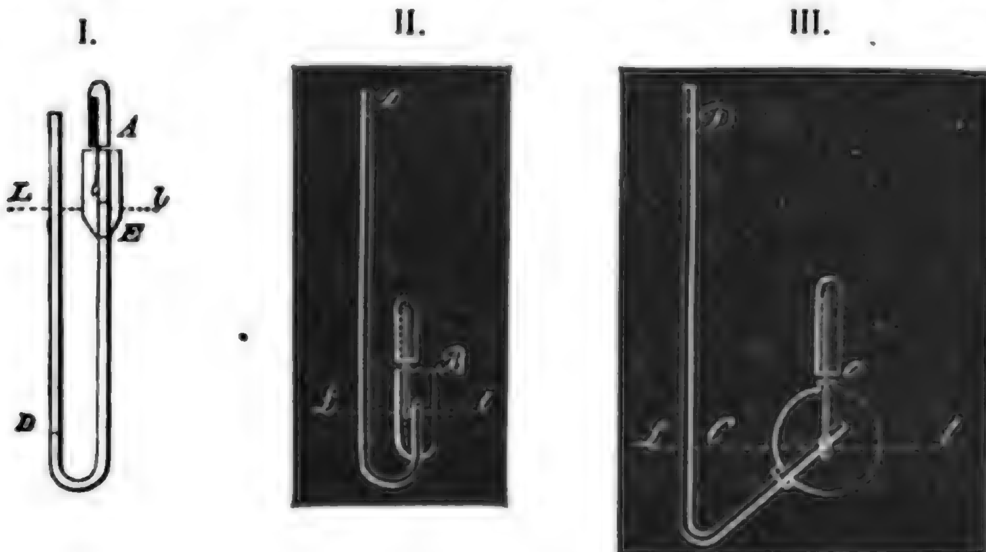
*) Achard, Sammlung phys. und chem. Schriften. Bd. I. S. 213. Schriften der Berl. Akad. 1782. S. 3.

**) Neues Journal Bd. I. S. 184.

***) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 226.

†) Phil. Trans. 1818. p. 356. — Schweigger's Journ. Bd. XXVIII. S. 329.

schen Kraft, bestimmt durch die Wärme in dem Dampfe der Flüssigkeit, welche über das Quecksilber in l gebracht ist, durch die Länge der Säule gemessen wird, welche oberhalb L hinzugethan werden muß, um das erste Niveau des Quecksilbers in l herzustellen. Diese beiden Punkte, von denen bei der Beobachtung ausgegangen wird, sind genau durch einen Ring von sehr dünnem Platindraht bezeichnet, der stark um die Röhre angezogen ist. — Bei Beginn des Versuches, und nachdem die Flüssigkeit so viel als möglich von Luft befreit eingebracht worden ist, bringt man das Quecksilber mit dem Rande des Ringes l in gleiche Höhe, indem man es mit Vorsicht in sehr dünnem Faden in den offenen Arm des Hebers D gießt, darauf paßt man sorgfältig den Ring an, welcher das Niveau in L bezeichnen soll. — Nach der Art, wie der Versuch geleitet wird, bleibt immer eine gewisse Quantität der Flüssigkeit in Berührung mit dem Dampfe, welches ein wesentlicher Umstand für die Genauigkeit der Resultate ist. Man erhält nämlich dadurch stets Dampf im Zustande der Sättigung. Gesetzt nun, die Temperatur des Wassers oder Oeles in A (Fig. I.), die durch ein sehr empfindsames Thermometer angegeben wird, sei die des schmelzenden Eises; und LD sei die Säule, welche dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht hält. Man erhitze den Cylinder A mittelst zweier Argandschen Lampen, deren Flamme gelind von unten wirkt. Wann das Thermometer



6 Grade anzeigt, vermindere man die Flamme, um während einiger Minuten eine sich gleichbleibende Temperatur zu erhalten. Dann wird die Elasticität genau durch die Quecksilbersäule gemessen, die man über D hinzufügen muß, um das Quecksilber auf sein anfängliches Niveau in l zurückzuführen. — Bei E ist ein Stück Kork zwischen die beiden Arme der Heberröhre befestigt, um diese zu unterstützen und dem ganzen Apparate als Aufhängepunkt zu dienen. — Für die Temperaturen über dem Siedepunkt ist der Theil des Hebers unterhalb E offenbar überflüssig, weil er in seinen beiden Armen ein Gewicht Quecksilber im Gleichgewichte erhält, welches auf den Versuch ohne Einfluß ist; man bedient sich daher des in Fig. II. und III. vorgestellten Apparates, indem man übrigens auf dieselbe Weise verfährt. Die Oeffnung O dient dazu, um die Kugel eines Thermometers, welche gegen die Röhre befestigt bleibt, einzulassen. Nachdem der gekrümmte Theil der Röhre mit Quecksilber gefüllt worden, läßt man eine kleine Quantität Flüssigkeit bis zum geschlossenen Ende hindurchgehen. Der Recipient C, welcher mit Oel

oder Wasser gefüllt ist, wird durch eine Argandsche Lampe erhitzt, und die Temperatur einige Minuten auf dem Siedepunkte erhalten; dann muß man in D einige Tropfen Quecksilber zufügen, bis L und l in derselben Horizontalebene sich befinden. Der weitere Verlauf des Versuches unterscheidet sich nicht von dem schon beschriebenen. Die Flüssigkeit in C erhitzt sich mehr und mehr; und demgemäß muß man immer neue Quantitäten Quecksilber über L einschütten, um das ursprüngliche Niveau herzustellen, indem dadurch der wachsenden Elasticität ein Gegengewicht entgegengestellt wird. Die Quecksilbersäule über L drückt die Zunahme der elastischen Kraft des Dampfes aus. Die Resultate von Ure's Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

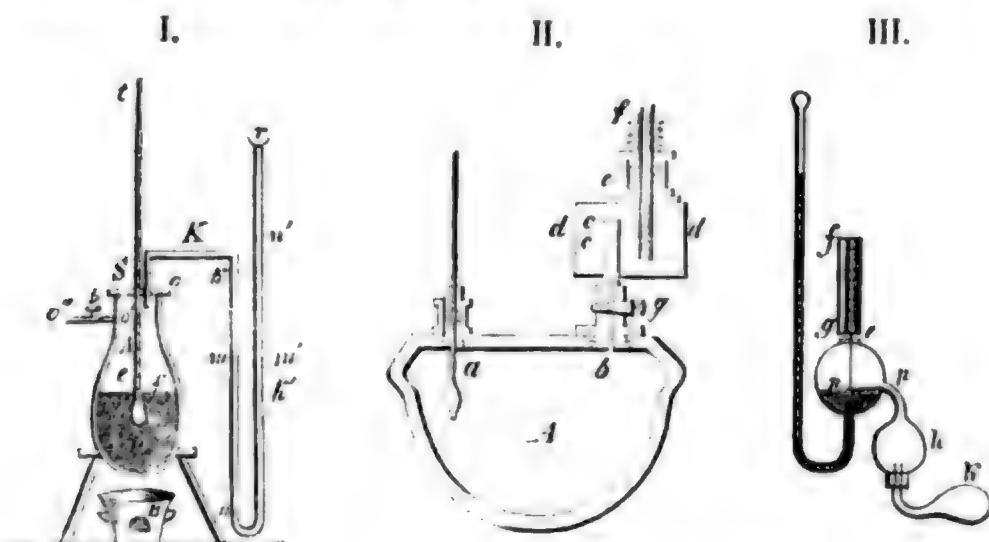
Southern *) stellte seine Versuche über den Dampf von hohem Drucke mit einem Digestor an. Ein Thermometer war einer metallenen Röhre angepaßt, so daß die Röhre des Thermometers bis zu der Höhe, zu welcher sich das Quecksilber erhob, eingesenkt werden konnte. Anstatt die Kraft des Dampfes durch ein mit Gewichten belastetes Ventil zu messen, wurde ein sorgfältig calibrirter Cylinder, und ein Kolben, der mit gelinder Reibung in denselben paßte, und an dessen Stange ein Hebel angebracht war, angewandt. Damit diese Vorrichtung zu keinem Irrthume Veranlassung gebe, wurde eine Quecksilbersäule an die Stelle gesetzt, und beinahe bis auf $^1/_4$ Millimeter war die Uebereinstimmung bemerklich. Die Beobachtungen bei jedem Grade der Temperatur und des Druckes wurden während einiger Minuten fortgesetzt, während die Temperatur abwechselnd vermehrt wurde, so daß der Druck bald etwas zu hoch, bald etwas zu niedrig war, und man führte dann das Resultat auf eine mittlere Temperatur zurück. S. d. folg. Tab.

Watt **), der erste, der sich mit genaueren Untersuchungen über die Elasticität im Jahre 1764 (erst 1814 veröffentlicht) abgab, bediente sich eines Apparates, der dem von Robison beschriebenen ähnlich war. Seine Beobachtungen sind mit großer Genauigkeit angestellt; er hat indeß keine Rücksicht genommen auf den Einfluß des Druckes, welchen der sehr expandirte Dampf auf die Kugel des in den Digestor eingesenkten Thermometers ausübt. S. d. folg. Tab.

Einer der ersten Beobachter der Elasticität des Dampfes war ferner Betancourt ***), dessen Apparat Muncke ****), wie folgt, beschreibt. Er bestand aus einem Papin'schen Digestor A, wie umstehende Fig. I. zeigt, mit einer Oeffnung S zum Eingießen des Wassers, einem eingesenkten Thermometer ht, einer seitwärts angebrachten, durch einen Hahn b verschließbaren, und vermittelst eines biegsamen Rohres mit einer Campane verbundenen Röhre o′ o″, um die Luft aus dem oberen Raume des Digestors über dem Wasser durch Aufsetzen der Campane auf den Teller einer Luftpumpe wegzuschaffen, und endlich aus einer viermal gebogenen Glasröhre, deren aufrecht stehendes, oben offenes, Ende vermittelst einer angebrachten Scale in Pariser Zolle und deren Theile getheilt war. Das in derselben oder einem damit verbundenen Gefäße befindliche Quecksilber diente dazu, für Temperaturen unter dem Siedepunkte in dem Theile der Röhre kn ein Barometer zu bilden, und durch die Differenz der Höhe des Quecksilbers in diesem und einem

*) Robison, Mechan. phil. T. II. p. 160.
**) Watt's Anm. zu Robison Mech. Phil. ed. Brewster T. II. p. 29.
***) Memoire sur la force expans. de la vapeur. Par. 1792.
****) Gehler's Phys. Lex. N. A. Bd. III. S. 319.

zugleich beobachteten wirklichen Barometer sowohl die Elasticitäten der Dämpfe unter der Siedehitze zu messen, als auch durch das Aufsteigen desselben im längeren Schenkel der Röhre k′n′ die Elasticitäten derselben bei höheren Temperaturen zu finden. Daß bei diesem Apparate die Differenz der Quecksilberhöhe in der Röhre und im wirklichen Barometer beim Gefrierpunkte der noch im Digestor befindlichen Luft beigemessen wurde, folglich die Elasticität der Dämpfe beim Gefrierpunkte = 0 genommen werden mußte, versteht sich von selbst. Die Resultate der Betancourt'schen Versuche s. in d. folg. Tab.



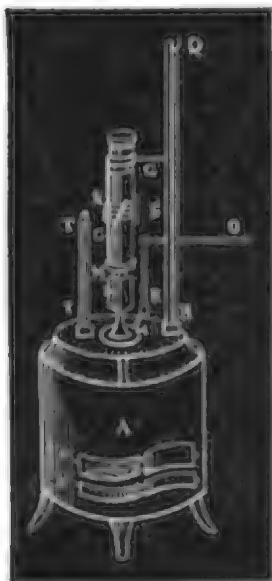
G. G. Schmidt*), welcher 1797 schon seine Versuche anstellte, verfuhr (nach Muncke) folgendermaßen. Sein Apparat (wie obenstehende Fig. II. zeigt), hatte die dem Gelingen nachtheilige viermal gebogene Röhre des Betancourt'schen Digestors nicht, auch wurde er durch die Dämpfe des siedenden Wassers anfänglich luftleer gemacht, welches sicher das Beste ist. Der Hahn g schloß dann, nachdem durch Sieden alle Luft weggeschafft war, das Gefäß A, und wurde erst wieder geöffnet, wenn das Wasser in dem letzteren beim Versuche die Siedehitze abermals erreicht hatte. Daß endlich das im Gefäße dd enthaltene Quecksilber, dessen Stand nach der früher angestellten Messung des Inhalts dieses Gefäßes und der Röhre f corrigirt werden konnte, durch den Druck der Dämpfe in dieser Röhre in die Höhe gehoben wurde, ist an sich klar. Ueber 114° R. konnten die Versuche nicht fortgesetzt werden, weil die zwischen den Schrauben liegenden Leder zusammendörrten. Hanf ist daher für solche Zwecke weit vorzuziehen.

Um die Elasticitäten des Dampfes unter der Siedehitze zu finden, bediente sich Schmidt des sehr zweckmäßig eingerichteten Ciarcy'schen Dampfbarometers. Dasselbe besteht aus einem gewöhnlichen gut ausgekochten Flaschenbarometer, dessen Oeffnung e (wie obenstehende Fig. III. zeigt) so eingerichtet ist, daß ein Thermometer fg hineingesenkt und sie durch einen auf die Röhre desselben geschobenen Kork dampfdicht verschlossen werden kann. An der Flasche des Barometers ist seitwärts die kleine Phiole h angebracht, in deren untere Oeffnung gleichfalls vermittelst eines Korkes die kleine Retorte k gesteckt wird, welche letztere etwas

*) Gren, N. Journ. Bd. IV. S. 264. Versuch über die Expansivkraft, dichte und latente Wärme des Wasserdampfes von G. G. Schmidt. Leipzig 1798.

Wasser enthält, das man durch eine untergehaltene Lampe sieden läßt, und wenn dann sowohl h als auch das Gefäß des Barometers pp mit siedendem Dampf gefüllt und aus beiden die Luft ausgetrieben ist, so wird der ganze Apparat durch die beiden Korke verschlossen; man läßt ihn erkalten, das Quecksilber sinkt aus der Barometerröhre in das Gefäß pp, und indem man alsdann das in diesem zurückgebliebene Wasser allmälig erhitzt, so erhält man nach Angabe des in demselben befindlichen Thermometers die den Temperaturen des Dampfes zugehörigen Elasticitäten des Wasserdampfes in Höhen der Quecksilbersäule. Noch einfacher wird dieser Apparat, wenn man die Phiole h und die Retorte k ganz wegläßt, etwas Wasser im Gefäße pp zum Sieden bringt, und nachdem alle Luft ausgetrieben ist, dasselbe vermittelst des Korkes am Thermometer verschließt, und so verfährt, wie oben angegeben ist, wobei man zu größerer Vorsicht wohl thut, den Kork mit einem Kitt aus Bernsteinfirniß und ungelöschtem Kalke zu überstreichen, um jedes Eindringen der Luft zu verhüten. S. d. folg. Tab.

Biker *) und Rouppe gelangten bei ihren Versuchen zu Resultaten, die mit denen von Schmidt in großer Uebereinstimmung sind, indem sie sich eines Apparates bedienten, den Muncke beschreibt. Ein Digestor stand in dem eisernen Ofen A (wie beistehende Figur zeigt), war aus $^3/_{16}$ Zoll dickem geschlagenem Kupfer, 11 Z. hoch und 10 Z. weit, mit einem noch einmal so dicken aufgeschrobenen Deckel und zwischenliegender Bleischeibe, um das Schwinden der Lederscheiben zu vermeiden. Der Deckel hat fünf Oeffnungen mit verschiedenen Vorrichtungen, welche gleichfalls vermittelst Bleischeiben dampfdicht verschlossen sind. In der Mitte befindet sich der Dampfcylinder GG, mit einem doppelt durchbohrten Hahne M, vermittelst dessen sich der Dampfcylinder mit dem Digestor oder auch mit der äußern Luft in Verbindung setzen läßt; auch giebt er den Dämpfen im Digestor einen Ausweg, um vor den Versuchen die in demselben eingeschlossene Luft wegzuschaffen. Schraubt man die Deckplatte des Dampfcylinders GG ab, so läßt sich ein luftdicht schließender Embolus hineinschieben, welcher durch die Dämpfe nach der Oeffnung des Hahns in die Höhe gehoben wird, und dann geben aufgelegte Gewichte die Kraft an, welche der Dampf gegen den Embolus ausübt. Wird dann der Zutritt des Dampfes durch den Hahn abgeschlossen, und aus einer in das Röhrchen N eingeschrobenen Spritze Wasser in den Cylinder gespritzt, so condensirt sich der Dampf, der Embolus wird durch die atmosphärische Luft niedergedrückt, und das gebildete Wasser läuft durch die Oeffnung des Hahns ab, worauf der Proceß von neuem beginnen kann. Man sieht leicht, daß hiermit das Spiel der atmosphärischen Dampfmaschinen im Kleinen nachgebildet werden sollte. Die Oeffnung R war bestimmt, den Digestor mit Wasser zu füllen, worauf sie entweder mit einem Sicherheitsventile (einem Kegelventile mit Hebelarme), oder mit der Röhre RSO zugeschroben wurde, vermittelst welcher der Apparat durch Anwendung einer Luft-

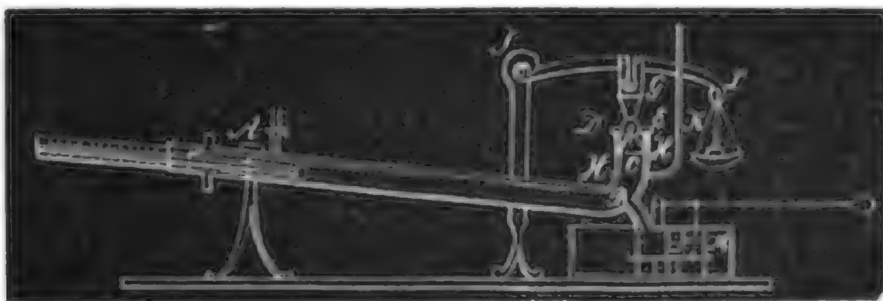


*) Nieuwe Verhandelingen van het Bataafsch Genootschap der proefondervindelijke Wysbegeerte te Rotterdam. Deel. I. Amst. 1800. — Gilb. Ann. Bd. X. S. 257.

pumpe entleert werden konnte. In der dritten Oeffnung des Deckels war das Thermometer TT, dessen Kugel 4 Zoll tief unter denselben hinabreichte, in der vierten die 110 Zoll lange, oben verschlossene Meßröhre HQ, welche eben wie die Thermometerröhre in ihre Fassung mit Mennig und dick eingekochtem Leinöle eingekittet war. Dieser nämliche Kitt, nachdem noch etwas Bleiweiß zugesetzt worden, diente zum Verstreichen der Fugen. Das untere Ende der Röhre war in das eiserne Gefäß P (wie beistehende Figur zeigt) gesenkt, welches eine hinlängliche Menge Quecksilber faßte, um die ganze Röhre damit zu füllen, von unten in den Deckel dd eingelassen war, mittelst der Oeffnung e mit dem Dampfe im Digestor communicirte, vermittelst der Röhren b aber mit der äußeren Luft, indem das aus der fünften Oeffnung des Deckels tretende Ende dieser letzteren durch einen Hahn geöffnet oder verschlossen werden konnte, um die Luft oder die zu stark erhitzten Dämpfe entweichen zu lassen oder abzusperren. Bei den Versuchen selbst ist es vor allen Dingen nothwendig, das Feuer sehr zu mäßigen, weil sonst die Elasticität der Dämpfe dem Thermometer vorauseilt, auch müssen die Ventile genau schließen, indem beim Entweichen von etwas Dampf die Elasticitäten zu geringe gefunden werden. Außerdem wandten die Experimentatoren auch noch das zweckdienliche Mittel an, daß sie das Feuer dämpften und die Versuche bei abnehmender Wärme wiederholten.



Arzberger*) hat später einige Versuche angestellt, welche besonders darum große Verdienste haben, weil sie sich zum Theil auf sehr hohe Temperaturen beziehen, an welchen Bestimmungen es bis dahin fehlte. Es wurde eine knieförmig gebogene eiserne Röhre ABC (wie nachstehende Figur zeigt) so auf drei Füße gestellt, daß der kürzere Schenkel lothrecht stand, das andere schräg liegende Ende aber bis



nahe zu gleicher Höhe mit diesem anstieg. In den kürzeren Schenkel C war ein stählerner Ansatz DE mit einem eingeschliffenen Kugelventile geschroben, welches beim Aufspringen durch den Stift H am Abgleiten aus seiner Oeffnung gehindert wurde. Die übrigen Theile, als das Thermometer, der Hebelarm und die Wagschale zum Auflegen der Gewichte sind an sich klar, wobei schon aus der Zeichnung ersichtlich ist, daß die Einrichtung eine genaue Messung des erzeugten Druckes zuließ, die Ausgangsröhre B aber war mit einem kleinen Druckwerke M versehen, um vermittelst desselben Wasser in den Apparat zu pressen, die Röhre bei A mit dem Hahne aber diente zum Entweichen der anfänglich eingeschlossenen Luft

*) Jahrbücher des polytechn. Instituts in Wien. Bd. I. S. 144.

und späterhin des Dampfes zur Regulirung der Versuche. Aus dem Querschnitte der Oeffnung des Ventils und der Belastung der Kugel desselben wurde die Elasticität der Dämpfe berechnet, diesem die Barometerhöhe zuaddirt, und auf diese Weise die ganze Elasticität in Höhen der Quecksilbersäule gefunden. S. d. folg. Tabelle.

Christian *) bediente sich eines ähnlichen Apparates, wie der der Dampfmaschine ist. Es wurde nämlich ein Kolben, dessen Reibung durch ein Gegengewicht aufgehoben wurde, durch den Dampf in einem Cylinder gehoben, und durch Auflegung von Bleicylindern die den Kolben hebende Kraft des Dampfes bestimmt. Diese Methode ist nicht sehr genau, aber darum doch wichtig, weil die Vorrichtung der Dampfmaschine gleicht, in Bezug auf welche die Untersuchungen über Elasticität meist angestellt werden, und welche diesen ihre Wichtigkeit giebt. In den folgenden Tabellen sind die Resultate der Versuche Christian's angegeben, und zwar die für 88⁰ R. bis 128⁰ nach der letzten Versuchsreihe desselben, für 84⁰ und 128⁰ bis 136⁰ nach der vorletzten. Die vorletzte Versuchsreihe ist nach Muncke anscheinend die genaueste und umfassendste.

Sehr großartige und umfangreiche Versuche wurden im Auftrage der französischen Regierung von Prony, Arago, Girard und Dulong**) angestellt. Man wollte besonders die Spannkraft der Dämpfe von höherer Temperatur kennen lernen, und maß zu dem Zwecke direct die Länge der Quecksilbersäule, welche durch die Kraft des Dampfes getragen wurde. Es galt also eine ungefähr 70 Fuß lange Glasröhre aufzustellen und gehörig zu befestigen. Muncke theilt folgende Beschreibung des Apparates mit.

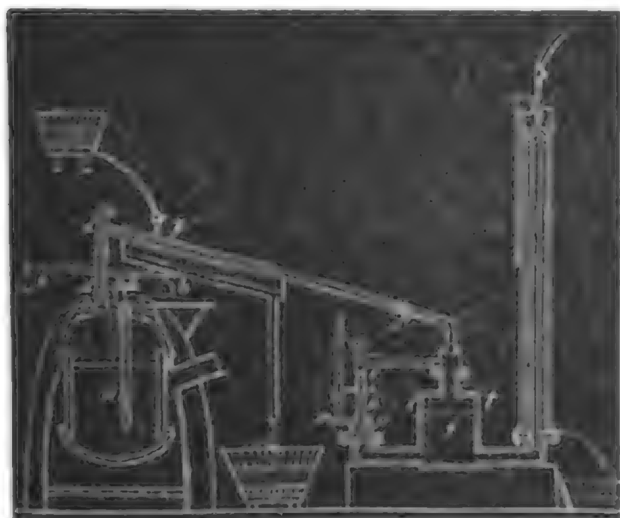
Als zweckmäßigstes Local diente ein viereckiger alter Thurm im Collège royal de Henri IV., durch dessen früher durchbrochene Gewölbe ein Balken mit ebener Vorderfläche aufgerichtet wurde, an welchem sich die aus einzelnen Stücken zusammengesetzte durch Schrauben und Kitt gegen das Ausdringen des Quecksilbers gesicherte Glasröhre befestigen ließ. Um den starken Druck dieser ganzen Säule zu vermeiden, war jedes Röhrenstück durch ein angemessenes Gegengewicht balancirt, so daß das Ganze sich leicht heben und zusammensetzen ließ. Zum Messen der Spannkraft des Dampfes diente zugleich ein Manometer, aus einer dicken Glasröhre bestehend. Um aber die Gültigkeit des Boyle'schen oder Mariotte'schen Gesetzes auch bei stärkeren Pressungen zuvor durch abermalige Messungen zu prüfen, da ihnen die früher hierüber angestellten Versuche nicht genügten, so verbanden die Academiker die Manometerröhre und die zusammengesetzte hohe Glasröhre beide durch ein eisernes Gefäß voll Quecksilber, preßten über letzteres Wasser mittelst einer Compressionspumpe, machten dadurch das Metall in beiden Röhren aufsteigen und bestimmten aus dem Unterschiede des Niveau's in beiden die Zusammendrückung der trockenen Luft in der Manometerröhre, wobei sie nicht bloß das Caliber der letztern corrigirten, sondern auch ihre Temperatur durch einen an ihr herabfließenden Strom Wassers unverändert erhielten. Durch drei Versuchsreihen fanden sie

---

*) Mechanique industrielle. T. II. p. 225.

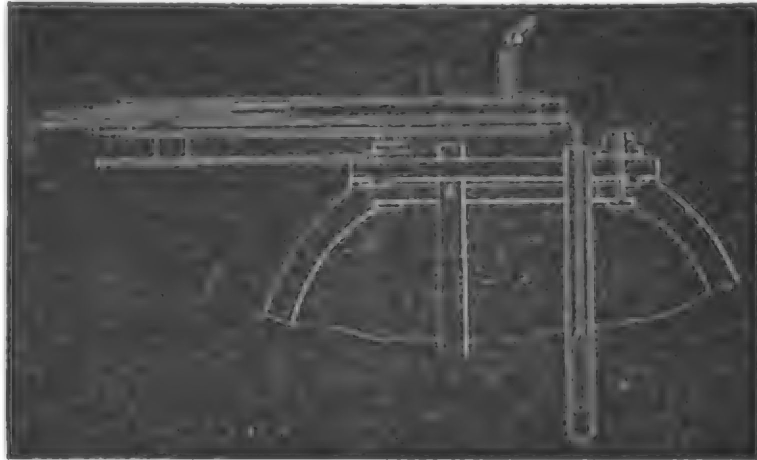
**) Mém. de l'Acad. de sciences T. X. p. 193. T. XI. p. 897. — Ann. de Chim. et Phys. T. XXVII. p. 101. T. XLIII. p. 74. — Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 437. — Schweigg. Journ. Bd. LIX. S. 167. — Fechner's Repertor. Th. I. S. 173. — Gehler's Phys. Wört. II. Ausg. Bd. X. S. 1056.

das Boyle'sche Gesetz von 1 bis 27 Atmosphären Druck vollkommen bestätigt, also für höhere Pressungen, als welche bis jetzt angewandt wurden. Nachdem auf diese Weise das Manometer als ein genügend genaues Meßwerkzeug erkannt worden, ließen die Experimentatoren dasselbe sammt dem Quecksilbergefäße in den Hof des Gebäudes bringen, weil eine Explosion den Einsturz des Thurms veranlassen konnte und setzten das Quecksilbergefäß mit einem Dampfkessel in Verbindung, worin Wasserdampf erzeugt wurde, welcher eine seiner Temperatur angemessene Pressung gegen das Quecksilber ausübte.



Die einzelnen Theile des Dampfkessels waren durch zwischengelegte Bleiplatten dampfdicht verschlossen, woraus hervorgeht, daß dieses Metall, sofern es durch das Anziehn der Schrauben in die feinen Zwischenräume dringt, für ähnliche Zwecke mit genügendem Erfolge angewendet werden kann. Es schien ihnen nöthig, den Kessel vorher zu probiren und sie wollten hierzu eine solche Wasserpumpe anwenden, wie man sie bei den hydraulischen Pressen gebraucht, hätten aber dann dem Reglement gemäß einen Druck von 150 Atmosphären anwenden müssen; allein ehe sie diesen erreichten, ließen einige Sprünge im Metall und mehreren Vernietungen ebenso viel Wasser durch, als die Pumpe zuführte, weswegen sie diesen Punkt nicht erreichen konnten. Bei diesen Probeversuchen überzeugten sie sich von der Ungenauigkeit der konischen Ventile zur Berechnung des Druckes, indem diese wegen der ungleichen Adhäsion der Kegel bei unverändertem Drucke sehr ungleiche Resultate geben. Sie räumten daher den ebenen Ventilen einen entschiedenen Vorzug ein, obgleich sie große Sorgfalt erfordern, wenn sie genau schließen sollen. Einen solchen Apparat bei dem Kessel anzubringen hätte lange Zeit erfordert und dennoch blieb es ungewiß, bis wie weit die erhöhte Temperatur die Cohäsion des Metalles schwächen würde. Deswegen machten sie einen Probeversuch, wobei das Thermometer durch ein Fernrohr beobachtet bis 240° C. stieg, eine Temperatur, die einer Spannung von 60 Atmosphären nahe kommt, so daß diese Probe für den beabsichtigten Zweck genügte. Der auf diese Weise geprüfte Dampfkessel wurde in einen Ofen eingemauert, dessen dicke Wandungen einen schnellen Wechsel der Wärme hinderten; durch den Deckel des Kessels ging ein aus Flintenläufen zusammengesetztes Rohr dd' zuerst lothrecht in die Höhe, dann in geringer Neigung d'd'' herabwärts, und senkte sich mit dem andern Ende in das Quecksilbergefäß f. Dieses Rohr mußte sich bei dem Versuche mit niedergeschlagenem Wasser füllen, und um den Druck desselben, welcher zu dem des Dampfes hinzukam, zu berechnen, wurde das Rohr vor dem Versuche mit Wasser gefüllt und durch einen auf die Leinwand bei V tröpfelnden Wasserstrahl stets abgekühlt. Durch niedergeschlagene Dämpfe konnte daher das in dem eisernen Gefäße sich beim Sinken des Quecksilbers anhäufende Wasser stets wieder ersetzt werden, und zur Messung des sinkenden Quecksilberniveaus diente die stets mit dem Gefäße correspondirende Quecksilbersäule pk in der gläsernen, oben durch das Bleirohr ox verbundenen Röhre.

Zu den schwierigsten Aufgaben gehörte die Messung der Temperatur, weil der mechanische Druck auf das Thermometer vermieden werden mußte. Deswegen waren in den Kessel durch den Deckel zwei unten verschlossene und soweit verdünnte Flintenläufe eingesenkt, daß sie gerade dem äußern Drucke widerstanden. Der eine derselben reichte fast bis auf den Boden hinab, der zweite nicht bis zu einem Viertel der Tiefe; in beide wurde Quecksilber gegossen, und in dieses waren die Thermometer hinabgelassen, deren eins die Wärme des Wassers, das andere die des Dampfes anzeigte; beide schwankten augenblicklich, wenn die Elasticität des Wassers



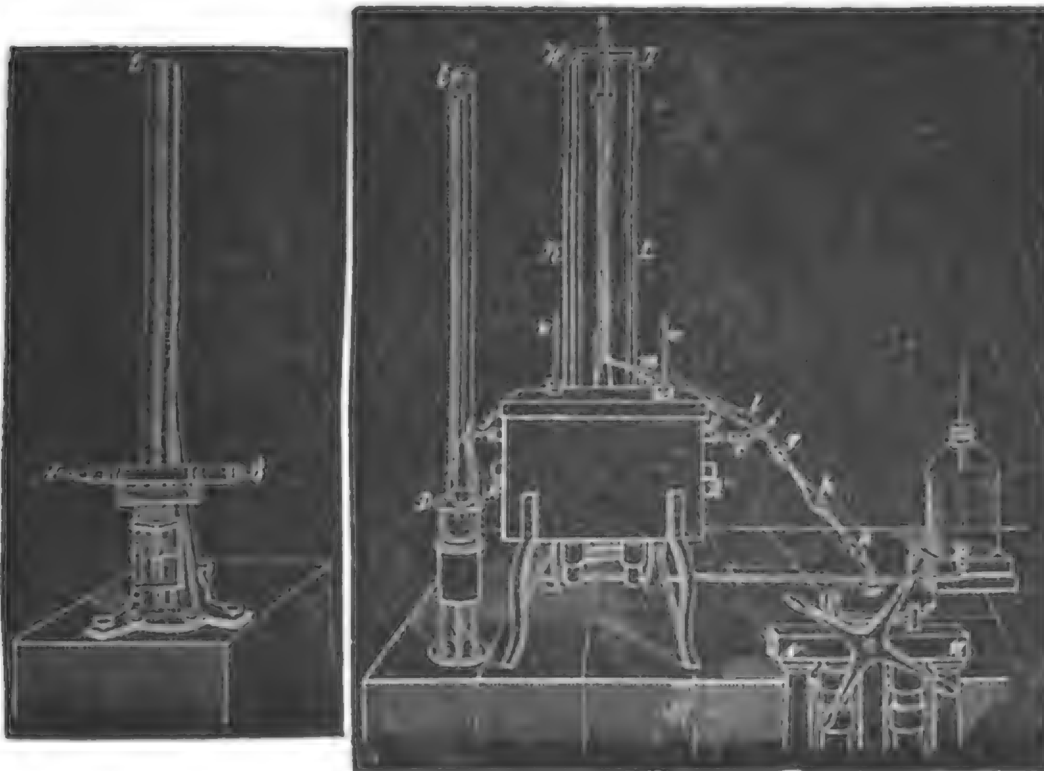
wuchs oder abnahm. Um aber die Correction wegen der ungleichen Temperatur des Quecksilberfadens in der Röhre zu finden, war diese beim Austritt aus dem Kessel rechtwinklig umgebogen und das Ende derselben befand sich in einer Glasröhre, durch welche aus einem Gefäße stets Wasser floß, dessen wenig veränderliche Temperatur von einem andern kleinen Thermometer angezeigt wurde. Aus dem Stande des großen umgebogenen Thermometers und dem des kleinen, welches die bleibende Wärme der Röhre des erstern angab, ließ sich die erforderliche Correction leicht finden *). Bei der Einrichtung des Ventils bb′ war hauptsächlich die Sicherheit berücksichtigt. Die angehängten Gewichte bestanden aus mehreren Stücken und konnten daher dem jedesmal erforderlichen Drucke angepaßt werden. War dieser erreicht und wurde dann das Ventil gehoben, so glitt das eine Gewicht gegen die Mitte, das andere an das Ende seines Hebelarmes, und das Ventil schloß sich nicht wieder. Beim Anfange jedes Versuchs wurde eine der zu erreichenden Temperatur nach Schätzung angemessene Menge Brennmaterial in den Ofen gebracht; das Ventil und die Röhre dd′ an ihrem obern Ende blieben offen, bis durch etwa 20 Minuten langes Sieden des das untere Ende des kürzeren Thermometerbehälters nicht ganz erreichenden Wassers alle Luft aus dem Kessel getrieben war. Nachdem dann das Ventil und das Ende d′ der Röhre geschlossen, die Wasserströmungen bei V und um das Manometer geöffnet worden waren, ließ man die Hitze so lange wachsen, bis ihre Zunahme nur noch unmerklich fortschritt, dann wurden die vier Thermometer des Kessels, die Höhe der Quecksilbersäule im Rohre op und der Stand des Manometers beobachtet; bloß die Größen, welche dem Maximum zugehörten, wurden berechnet, die vorhergehenden und nachfolgenden dienten

*) Die Zeichnung stellt bloß bei dem längern Thermometer diese Vorrichtung dar; bei dem kürzern war sie die nämliche.

zunächst zur Controle etwa beim Ablesen begangener Fehler. Nachdem das Manometer und die Thermometer merklich gefallen waren, wurde neues Brennmaterial eingebracht und eine zweite Bestimmung gesucht, auf welche Weise zwar keine nach steigenden Temperaturen zusammenhängende Reihe, aber doch eine hinlängliche Anzahl verschiedener Beobachtungen erhalten wurde. Die anfänglich gehegte Absicht, bis zu 30 Atmosphären zu gelangen, ließ sich nicht erreichen, weil zu viel Wasser und Dampf aus dem Kessel entwich, und man gelangte daher nur bis zu 22 Atmosphären *). Die Resultate dieser Beobachtungen sind in die nachfolgende Tabelle mit aufgenommen und dort mit Arago bezeichnet worden. Die Thermometerangaben der Tabelle sind die des längeren Thermometers, welche den Beobachtern als die zuverlässigeren erschienen. Die beiden Thermometer wichen im Maximum um 0°,7 von einander ab.

Sehr sorgfältige Versuche sind später von Magnus **) angestellt worden. Um die Temperaturen zu messen, bediente derselbe sich eines Luftthermometers, nicht sowohl wegen dessen größerer Empfindlichkeit im Vergleich gegen ein Quecksilberthermometer, als weil es ein beliebig großes Luftvolumen anzuwenden gestattet. Dadurch ist man im Stande, den Raum, in dem sich die Dämpfe befinden, fast ganz mit dieser thermometrischen Substanz zu umgeben und so sicherer die Temperatur dieses Raumes selbst zu erhalten. Das Luftthermometer ist Figur I. bei DE abgebildet. Die Röhre, welche die Luft enthielt, ist in Fig. II. S. 100

I.



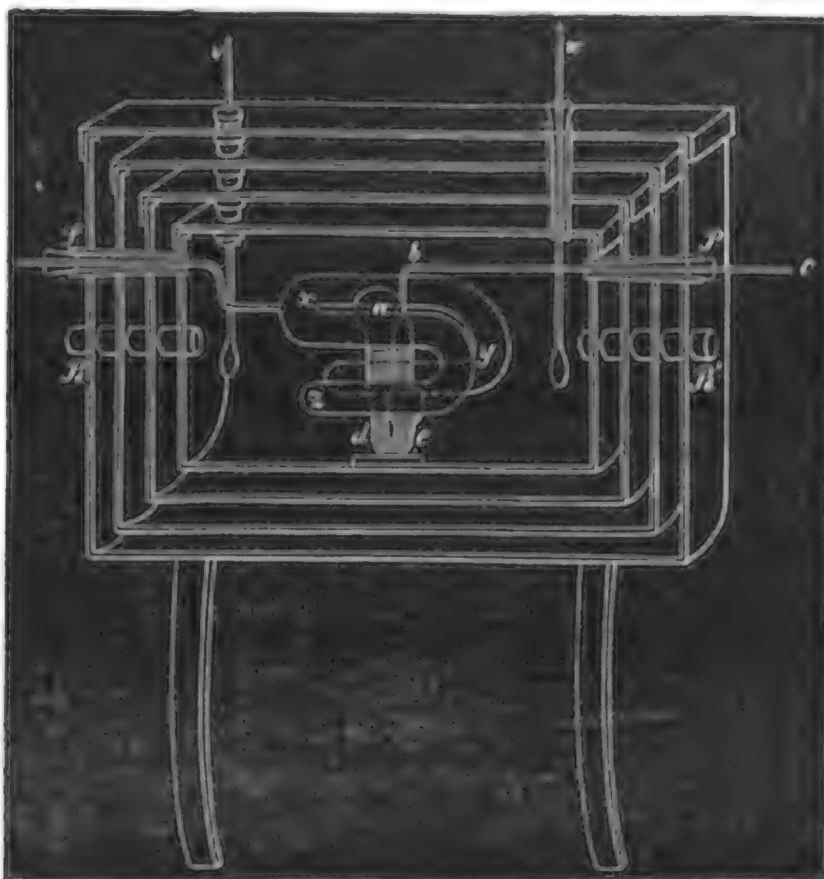
zu ersehen, wo sie mit xyz bezeichnet ist. Wenn das Thermometer und die Dämpfe genau dieselbe Temperatur haben sollen, so ist es nothwendig, daß beide nicht nur

*) Nach diesen Erfahrungen müssen die Angaben von Perkins, welcher mit seinen Hochdruckmaschinen viel weiter gekommen sein will, an Vertrauen verlieren.

**) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 225.

einer und derselben Temperatur ausgesetzt werden, sondern daß diese auch für einige Zeit constant bleibe, weil man sonst nicht sicher ist, daß beide, die Dämpfe und das Thermometer, im Augenblick der Beobachtung dieselbe Temperatur haben, in dem Falle nämlich, daß beide sich nicht gleich schnell erwärmen oder abkühlen. Der deshalb von Magnus angewandte Apparat ist in der Fig. I. S. 99 u. Fig. II.

II.



III.



dieser S. mit SPRR' bezeichnet, und besteht aus einem Kasten von Eisenblech, umgeben von drei anderen Kasten von ganz ähnlicher Beschaffenheit, so daß zwischen je zwei Kasten eine Luftschicht von $^5/_8$ Zoll sowohl oben als unten als auf jeder Seite bleibt. Der äußerste Kasten wird durch Argand'sche Spirituslampen erwärmt, deren Magnus bei diesen Versuchen nur zwei bedurfte. Wenn diese mit mäßiger Flamme brennen, so liefern sie stets dieselbe Wärme und dadurch wird die Luft in dem innern Kasten auf unveränderlicher Temperatur erhalten. — Der Apparat hat nur den sehr großen Uebelstand, daß stets mehrere Stunden erforderlich sind, bis die Temperatur in dem innersten Kasten constant wird. Die Vorrichtung, in welcher die Dämpfe erzeugt wurden, besteht aus einer kurzen nur etwa vier Zoll langen Uförmig gebogenen Röhre, die abde (Fig. II.) abgebildet ist. Das eine Ende ist verschlossen und, um den Raum für die Dämpfe etwas zu vergrößern, bei a zu einer Kugel ausgeblasen. An dem andern Ende ist bei b rechtwinklig eine Glasröhre bc angesetzt, die durch die Hülse P des zur Erwärmung bestimmten Kastens geht, und aus diesem bis c hervorragt. Der kurze geschlossene Schenkel dieser Röhre wird mit Quecksilber gefüllt und dies gut ausgekocht. Dann wird

etwas Wasser, das vorher $^1/_2$ bis $^3/_4$ Stunden anhaltend heftig gekocht worden war, durch c in den offenen Schenkel gegossen und eine kleine Quantität desselben, noch warm, durch Neigen der Röhre über das Quecksilber gebracht. Das übrige Wasser wird hierauf aus dem offenen Schenkel wieder abgegossen, und was sich davon, wegen der Gestalt der Röhre nicht abgießen läßt, durch einen eingeführten losen Bindfaden wieder aufgesaugt. — Der aus dem Kasten hervorragende Theil dieser Vorrichtung ist bei c durch Caoutchouk mit einer Glasröhre fghk (Fig. I. S. 99) verbunden, die zu einer Luftpumpe NM führt. Wird die Luft verdünnt, so können die Dämpfe den Druck überwinden, unter dem sich das Wasser in dem geschlossenen Schenkel des kurzen Uförmigen Rohres abd befindet; das Quecksilber sinkt in diesem und steigt in dem offenen Schenkel. Die Verdünnung der Luft wird dann soweit getrieben, bis die Oberflächen des Quecksilbers in beiden Schenkeln, wenigstens annähernd, in derselben Horizontalebene liegen. Den kleinen etwa noch vorhandenen Höhenunterschied mißt man mittelst eines Fernrohrs AB (Fig. I. S. 99). Zu dem Ende ist der Kasten SPRR′ mit zwei Röhren bei R und R′ von $1^1/_4$ Zoll Durchmesser versehen, die durch alle Einsätze hindurch gehen und an beiden Enden mit Glasscheiben verschlossen sind, so daß man mit dem Fernrohr hindurch sehen kann. Die Röhre abd, worin die Dämpfe sich bilden, wird so in dem innern Kasten befestigt, daß die Oberflächen des Quecksilbers gerade in die Richtung dieser Röhren fallen. — Die Spannkraft der verdünnten Luft wird schon durch das Barometer der Luftpumpe angezeigt; um indeß dieselbe genauer messen zu können, bediente sich Magnus eines Druckmessers, der in Fig. III. S. 100 abgebildet ist. Derselbe besteht aus einer Uförmig gebogenen Röhre opq von 3 Fuß Höhe zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt, deren einer Schenkel durch die Röhre lmn (Fig. I. S. 99) mit dem luftverdünnten Raume in Verbindung steht, während der andere bei o offen, oder mit einem nicht vollkommen schließenden Kork bedeckt ist. Der Unterschied in der Höhe des Quecksilbers in beiden Schenkeln wurde mittelst des Kathetometers ABC (Fig. I. S. 99) gemessen. — Um die Temperatur des Quecksilbers in diesem Druckmesser überall gleich zu erhalten, ist derselbe mit dem Kasten HIKL umgeben, dessen eine Seitenwand Holz, die andern drei aber Spiegelscheiben sind, und der oben durch einen Deckel leicht verschlossen ist. Er enthält zwei Thermometer, das eine unten, das andere oben, aus denen Magnus das Mittel nahm. In demselben Kasten war zugleich ein Heberbarometer rst aufgestellt, das dadurch stets dieselbe Temperatur als der Druckmesser hatte und gleichfalls mittelst des Kathetometers abgelesen wurde. — Das Barometer war mit einem Normalbarometer verglichen worden. Uebrigens hatten beide, das Barometer und der Druckmesser opq, mehr als $^1/_2$ Z. im innern Durchmesser, so daß keine Correction wegen der Capillardepression nöthig war; eben dies gilt auch von dem Rohre abd im Kasten, bei dem die Stücke ad und be (Fig. II. S. 100), in welchen die Oberflächen des Quecksilbers beobachtet wurden, mehr als $^1/_2$ Z. weit waren.

Als Magnus diese Versuche begann, veränderte sich das Quecksilber in dem Schenkel des Druckmessers pq, in dem die Luft verdünnt wurde, nach kurzer Zeit so sehr, daß es an den Wänden haftete und seine Oberfläche nicht mehr spiegelte. Magnus sah bald, daß diese Veränderung durch die Wasserdämpfe veranlaßt war, die bei dem Verdünnen und Wiedereinlassen der Luft dorthin gelangten. Deshalb schaltete er bei lm (Fig. I. S. 99) eine Chlorcalciumröhre ein, wodurch dieser Uebelstand gänzlich beseitigt wurde.

Wenn man nicht für jede Ablesung das Fernrohr des Kathetometers besonders einstellen will, so müssen die verschiedenen zu beobachtenden Gegenstände in gleichen Entfernungen von demselben aufgestellt sein. Dies ist auch mit dem Rohr abd in dem Kasten, sowie mit dem Druckmesser und dem Barometer der Fall. Das Luftthermometer hätte sich aber nicht ohne Schwierigkeit in derselben Entfernung anbringen lassen. Um dies gleichfalls mittelst des Kathetometers ablesen zu können, hat Magnus an dem Objectiv des Fernrohrs noch ein Converglas angebracht, das sich leicht vorschlagen läßt. Hierdurch wurde es möglich, das näherstehende Luftthermometer zu beobachten, ohne etwas anderes an dem Fernrohre zu ändern.

Das Verfahren bei den Versuchen war folgendes: Sobald die Temperatur in dem Kasten PQR constant war, was theils das Luftthermometer, theils zwei zu diesem Zweck angebrachte Quecksilberthermometer v u. w (Fig. I. S. 99 u. Fig. II. 100) anzeigten, so wurde die Luft in den Röhren kgebln langsam verdünnt. Ein Gehülfe sah in den Kasten und gab den Moment an, wenn das Quecksilber in den beiden Schenkeln des Rohrs adb gleich hoch stand.

War das Quecksilber in dem geschlossenen Schenkel gesunken, so verging einige Zeit, bis es einen constanten Stand annahm, offenbar deshalb, weil der innere Raum durch die für die Dampfbildung nöthige latente Wärme abgekühlt wurde, und erst allmälig die Temperatur des umgebenden Mediums wieder annahm. War die Spannkraft der Dämpfe constant, so wurde die Angabe des Luftthermometers mittelst des Kathetometers abgelesen, dann mittelst desselben Instruments der Unterschied der Quecksilberhöhen in der Röhre abd im Kasten, sowie die Höhe des Wassers in dem geschlossenen Schenkel gemessen, und ebenso die Höhen des Quecksilbers in dem Druckmesser opq und dem Barometer rst (Fig. I. S. 99 und Fig. III. S. 100).

Ein besonderer Vorzug des beschriebenen Apparates besteht darin, daß er nicht nur anwendbar ist für die Messung der Spannkräfte, die geringer sind, als der Druck der Atmosphäre, sondern auch für solche, die höher sind. Es muß hierfür nur die Luftpumpe so eingerichtet sein, daß man mit ihr nicht nur verdünnen, sondern auch verdichten kann. Dann wird die Luft vor der Erwärmung des Kastens SPR verdichtet, und wenn die Temperatur constant ist, so lange Luft herausgelassen, bis ihre Spannkraft gleich der der Dämpfe ist. Auf diese Weise hat Magnus die Spannkräfte über 100° C. bestimmt. Er war indeß genöthigt, die Caoutchoukröhren so einzurichten, daß sie durch den innern Druck nicht ausgeblasen wurden. Bei Anwendung des erwähnten Druckmessers opq würde man nur bis zu einer Spannkraft von etwas mehr als zwei Atmosphären beobachten können. Wollte man noch höhere Spannkräfte messen, so brauchte man nur das Manometer gegen eins von der Art zu vertauschen, bei welchem der Druck durch die Veränderungen des Volumens einer Luftmasse angezeigt wird; auch würden die Caoutchouk- und Glasverbindungen durch feste metallische Verbindungen ersetzt werden müssen.

Die Berechnung der Spannkräfte des Wasserdampfs aus den mittelst des erwähnten Apparats erhaltenen Beobachtungen ist einfach. Am 16. Juni 1843 zeigte das Barometer in dem Glaskasten HKL 759,4 ^{mm} bei 20° C. und der Druckmesser 436,1 ^{mm}. Die Differenz war also 323,3 ^{mm}. Diese reducirt auf 0° geben 322,26 ^{mm} für die Spannkraft der verdünnten Luft. In dem Kasten stand das

Quecksilber in dem Schenkel der Röhre abd, in welchem die Dämpfe waren, 1,65 mm höher als in dem andern. Hierzu kommt noch der Druck, den das Wasser in diesem Schenkel ausübte. Die Höhe desselben betrug 2,65 mm, der Druck desselben war also gleich einer Quecksilbersäule von 0,20 mm. Es war folglich die Spannkraft der Dämpfe um 1,85 mm geringer als die der verdünnten Luft, oder = 320,41 mm. — Die Temperaturen sind auf die absolute Ausdehnung der Luft bezogen und aus den Ausgaben des Luftthermometers nach folgender Formel berechnet:

$$\Theta = \frac{\frac{H' + h' - e}{H + h - e} - 1}{\alpha - \delta \frac{H' + h' - e}{H + h - e}},$$

worin Θ die absolute Ausdehnung der Luft, ausgedrückt in Graden der hunderttheiligen Scala bedeutet, $H + h - e$ die Elasticität der in dem Thermometer enthaltenen Luft bei 0°, $H' + h' - e$ die Elasticität dieser Luft bei der Temperatur Θ, δ die Ausdehnung des Glases und α die absolute Ausdehnung der Luft für einen Grad der hunderttheiligen Scala. — Für die Temperatur von 100° C. ist der Kochpunkt des Wassers unter dem Druck von 760 mm genommen. Die absolute Ausdehnung der Luft von 0° bis 100° oder 100 α ist = 0,36678. Als Mittel aus mehreren Beobachtungen hatte sich die anscheinende Ausdehnung für die in dem Thermometer enthaltene Luft von 0° bis 100° C. zu 0,36394 ergeben, woraus δ = 0,0000208 gefunden wird. Die Beobachtungen von Magnus liegen zwischen den Grenzen von — 6° und 105°; ich habe eine Anzahl derselben in die nachfolgende Tabelle aufgenommen, namentlich diejenigen, welche Magnus der von ihm aufgestellten Formel (s. d. Folg.) zu Grunde gelegt hat.

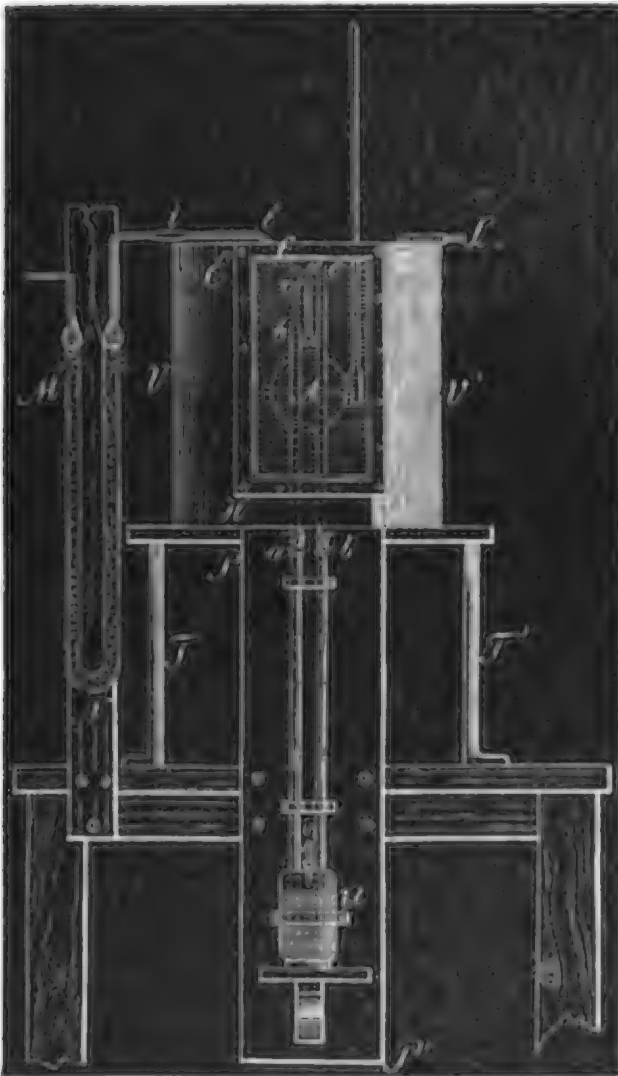
Magnus macht auf die Fehlerquellen bei seinen Versuchen aufmerksam, namentlich sagt er, daß es ihm nicht gelungen sei, das angewandte Wasser vollkommen von Luft zu befreien. Auch war es nicht möglich, die Dämpfe und das Luftthermometer absolut derselben Temperatur auszusetzen. Da die Spannkraft bei 0° nach den Beobachtungen von Magnus nicht unbedeutend von den älteren Beobachtungen abwich, so bestimmte er dieselbe nochmals nach der von Gay-Lussac eingeschlagenen Methode. Er erhielt auf diese Weise einen Werth von 4,62 mm (0,18 Zoll). Niemals erreichten sie den früher angenommenen Werth von 5,06 mm (0,188 Z. s. d. Tabelle, nach Dalton). Magnus zieht den durch seine Methode gefunden Werth von 4,525 mm (= 0,17 Z.) vor.

Die umfassendsten und wichtigsten Untersuchungen über die Natur des Wasserdampfes zum Zwecke der theoretischen Berechnung der von Dampfmaschinen geleisteten Arbeit verdanken wir Regnault *). Derselbe beobachtete auch über die Spannkräfte des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen. Er prüfte erst experimentell die älteren Methoden, ehe er neue sinnreiche Apparate ersann. So stellte er eine Reihe von Versuchen nach der von Dalton befolgten Methode an und fand, daß die Resultate derselben sehr genau waren für gleiche oder wenig

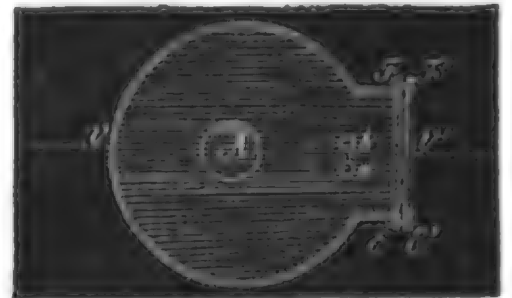
*) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XI. p. 273. — Pogg. Ann. Ergänzungsband II. S. 119.

höhere Temperaturen als die der Umgebung, für etwas höhere Temperaturen wurden die Resultate aber unsicher. Einen andern Versuch machte **Regnault** hierauf mittelst eines Apparats von zwei Barometern, einem trocknen und einem (inwendig durch Einführung von etwas Wasser) benäßten, wobei die beiden Quecksilbersäulen nicht ihrer ganzen Länge nach erhitzt wurden. Zwei möglichst ähnliche Barometer von 14 Millim. innerem Durchmesser sind neben einander an einem Brete PP′ (wie nachstehende Fig. I. zeigt) aufgestellt. Diese Barometer gehen durch die beiden Tubulaturen a und b eines Kastens von verzinktem Eisenblech VV′, und werden in demselben vermittelst Caoutschuk festgehalten. Der Kasten VV′, dessen horizontaler Durchschnitt in nachstehender Fig. II. dargestellt ist, hat an einer seiner Seiten eine rechteckige Oeffnung EFGH, um welche ein eiserner Rahmen befestigt

I.



II.



ist. An diesem Rahmen wird vermittelst eines zweiten, dem erstern ähnlichen Rahmens E′F′G′H′ ein Parallelglas gelegt und daran mittelst einer Schraube befestigt. Eine nach der Form dieser Rahmen geschnittene Caoutschuktafel wird zwischen das Glas und den Rahmen EFGH gelegt, um den Verschluß dicht zu machen. Diese Einrichtung gestattet das Glas wegzunehmen und mit der größten Leichtigkeit wieder einzusetzen. Die beiden Barometer tauchen in dasselbe Gefäß U. Der Blechkasten VV′ faßt ungefähr 45 Liter und steht auf einem eisernen Gestelle TT′T″. — Um zu sehen, ob die Dazwischensetzung des Glases und des den Kasten füllenden Wassers eine Ablenkung der Lichtstrahlen bewirkte, welche die Messung der Niveaus mittelst des Kathetometers fehlerhaft mache, zog **Regnault** zuvor auf das trockne Barometer, etwa in der Höhe, wo gewöhnlich das Quecksilber stehen blieb, einen horizontalen sehr feinen Strich, und auf das benäßte Barometer eine Theilung in Centimeter. Er maß die Abstände des Merkstrichs am Barometer von allen folgenden Theilstrichen des benäßten Barometers: 1) wenn das Glas nicht dazwischen war, 2) wenn es dazwischen und das Gefäß mit Wasser gefüllt

war. So erkannte er, daß die Dazwischensetzung des Glases und des Wassers oft eine absolute Ablenkung der Strahlen bis um 0,5 Millimeter bewirkte, allein die relativen Ablenkungen der Theilstriche des benäßten Barometers in Bezug auf den Merkstrich am trocknen Barometer waren immer viel kleiner. Diese Ablenkungen, die einzigen, welche einen Einfluß auf die Beobachtungen haben konnten, stiegen niemals über $0^{m},10$, waren vielmehr fast immer geringer und oft ganz zu vernachlässigen. Man sah übrigens sorgfältig darauf, die Gläser genau lothrecht und dem Glase parallel zu stellen.

Der Kasten VV′ ist mit Wasser gefüllt, welches ein Gehülfe fortwährend umrührt. Er enthält ein sehr empfindliches Quecksilberthermometer, welches mit einem kleinen horizontalen Fernrohr beobachtet wird. Der Beobachter richtet das Fernrohr des Kathetometers auf den Scheitel der Quecksilberkuppe des benäßten Barometers. Im Moment der Beobachtung wird mit dem Umrühren eingehalten und unmittelbar nachher wieder damit begonnen. Man hält abermals ein im Moment, wo der Beobachter nach der Kuppe des trockenen Barometers visirt. Somit ist das Wasser in einer fortdauernden Bewegung, die durch die Weite des Gefäßes sehr erleichtert wird. Bei der Temperatur der umgebenden Luft lassen sich die Beobachtungen mit großer Genauigkeit und beliebig oft anstellen. Bei höheren Temperaturen nimmt man mittelst eines Hebers einen Theil des kalten Wassers weg und ersetzt es durch eine entsprechende Menge heißen Wassers, stellt unter das Blechgefäß eine Weingeistlampe und nähert diese mehr oder weniger dem Boden, oder schraubt ihren Docht mehr oder weniger heraus, so daß, bei fortwährender Umrührung des Wassers, die Temperatur vollkommen stillstehend bleibt. Diese Bedingung ist durch einiges Probiren leicht zu erreichen und wenn die Temperatur des Wassers nicht 50° C. überschreitet, gelingt es, die Temperatur beliebig lange stationär zu erhalten. Es ist nur nöthig, daß das Umrühren des Wassers lebhaft und fortdauernd geschehe. Bei einer und derselben stationär gewordenen Temperatur machte man drei oder vier Beobachtungen in Zwischenräumen von 8 bis 10 Minuten zwischen zwei auf einander folgenden. Zuweilen ließ man absichtlich zwischen zwei Beobachtungen die Temperatur des Bades um einige Hundertel steigen oder fallen, und machte dann durch gehörige Regelung der Lampe die Temperatur wieder stationär. Dadurch war es leicht zu erkennen, daß die Bewegungen der Quecksilbersäule den geringsten Veränderungen des Thermometers folgten und allemal, wenn das Thermometer dieselbe Temperatur zeigte, fand man auch dieselbe Spannung. Bei diesem Verfahren werden die Quecksilbersäulen nicht ihrer ganzen Höhe nach erwärmt, aber die zum Gefäß herausragenden Stücke befinden sich unter vollkommen einerlei Umständen. Der Höhenunterschied beider Säulen hat die Temperatur des Bades und dieser Unterschied, auf Null reducirt, giebt die Spannung des Wasserdampfes. Der Quecksilberspiegel im benäßten Barometer ist mit einer Wasserschicht von 3 bis 4 Millimeter Höhe bedeckt. Diese Schicht drückt vermöge ihres Gewichts den Quecksilberspiegel herab, allein andererseits strebt sie ihn, vermöge der Capillarwirkung, zu erhöhen. Mißt man mit dem Kathetometer den Abstand zwischen dem tiefsten Punkte des vom Wasser gebildeten concaven Meniskus und dem Scheitel des convexen Meniskus vom Quecksilber und dividirt diesen Abstand durch 13,5 (der Dichte des Quecksilbers gegen Wasser), so erhält man die kleine Quecksilberhöhe, die der also geschätzten Wassersäule gleich kommt. Der Capillareinfluß des Wassers wurde durch einen directen Versuch be-

stimmt. An das obere Ende zweier Barometerröhren, die zu den vorhergehenden Versuchen gedient hatten, wurden Glasröhren von kleinem Caliber geschmolzen und diese in eine kleine dreiarmige Kupferröhre eingekittet, der dritte Arm dieser Röhre enthielt eine Glasröhre, die zu einer Luftpumpe führte. Zwischen einer der Barometerröhren und der entsprechenden kupfernen Tubulatur befand sich ein U förmiges Rohr, gefüllt mit schwefelsaurem Bimstein. Die beiden Baromer tauchten in eine und dieselbe Quecksilberwanne. Man pumpte den Apparat mehrmals aus und ließ wieder Luft hinein, um die mit dem schwefelsauren Bimstein communicirenden Röhrenwände zu trocknen; endlich pumpte man nochmals aus und schmolz die mit der Luftpumpe communicirende Röhre vor der Lampe zu; dann versicherte man sich, daß die beiden Säulen im Niveau seien und ließ in eine der Röhren eine dünne Wasserschicht eintreten, ungefähr gleich der, die zu den Versuchen über den Dampf gedient hatte. So hatte man zwei unvollkommene Barometer, die mit einander communicirten, folglich einem gleichen inneren Druck ausgesetzt waren; allein das eine Baromer war trocken und das andere enthielt eine dünne Wasserschicht. Man wartete bis zum anderen Morgen, um sicher zu sein, daß die beiden Säulen genau gleiche Temperatur hätten; dann bestimmte man die Niveaudifferenz der beiden Quecksilbermenisken und die Höhe der Wassersäule. Diese letztere Höhe, in Quecksilberhöhe verwandelt, würde den beobachteten Höhenunterschied der beiden Quecksilbersäulen vorstellen, wenn in der Capillarwirkung keine Aenderung stattgefunden hätte. Der Effect dieser letzteren Ursache ward also gemessen durch den Höhenunterschied der beiden Quecksilbermenisken, verringert um die auf Quecksilber reducirte Wassersäule. Dadurch ergab sich, daß die benäßte Säule, berichtigt wegen des Gewichtes der kleinen Wasserschicht, vermöge der Capillarwirkung des Wassers um $0^{mm},12$ gehoben war.

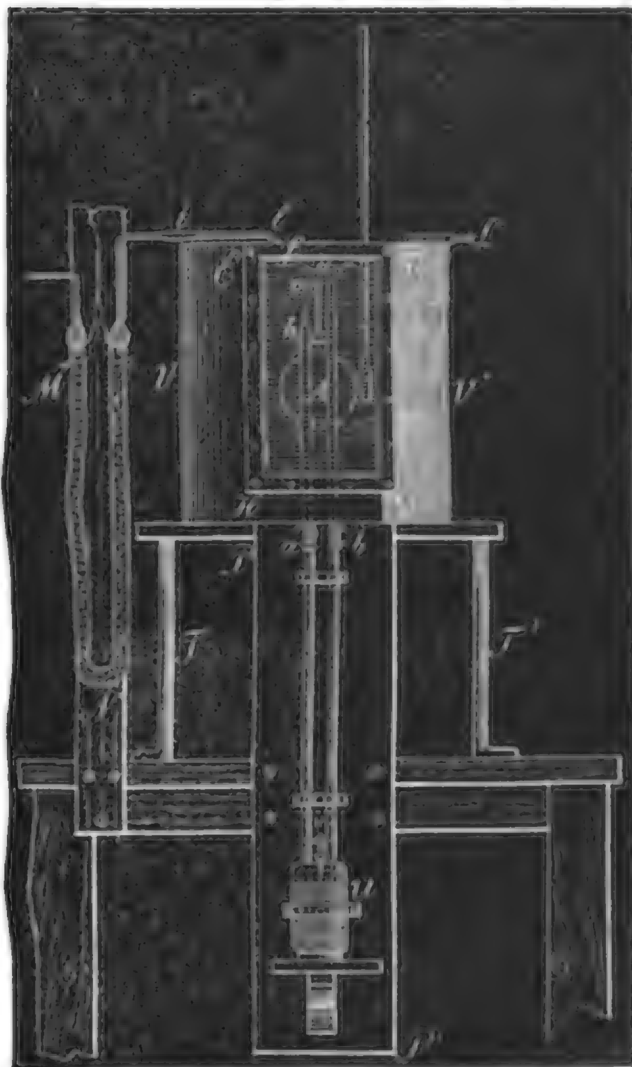
Eine Anzahl von Resultaten der in der eben beschriebenen Weise angestellten Versuche habe ich in der nachfolgenden Tabelle aufgenommen und mit Regnault I. bezeichnet.

Die zweite Reihe von Versuchen wurde mittelst des Apparates I. II. und III. auf nebenstehender Seite angestellt. Eine etwa 500 Cubikcentimeter fassender Ballon A umschließt ein ganz mit frisch ausgekochtem Wasser gefülltes Kügelchen, und durch die angeschmolzene gekrümmte Röhre ist er an das dreiarmige Kupferstück def gekittet. In der Tubulatur e sitzt eingekittet ein krummes Rohr egh, gelöthet an den oberen Theil einer Barometerröhre ha, welche durch die Tubulatur a des des Blechgefäßes VV′ geht. Durch die zweite Tubulatur b dieses Gefäßes geht ein wahres Barometer, welches in dieselbe Wanne U taucht. In der dritten Tubulatur f des dreiarmigen Kupferstücks def ist eine Röhre eingekittet, die zur Luftpumpe führt; doch wird auf dem Wege dahin ein mit schwefelsaurem Bimstein gefülltes Rohr MN, von etwa 1 Meter gesammter Länge, eingeschaltet.

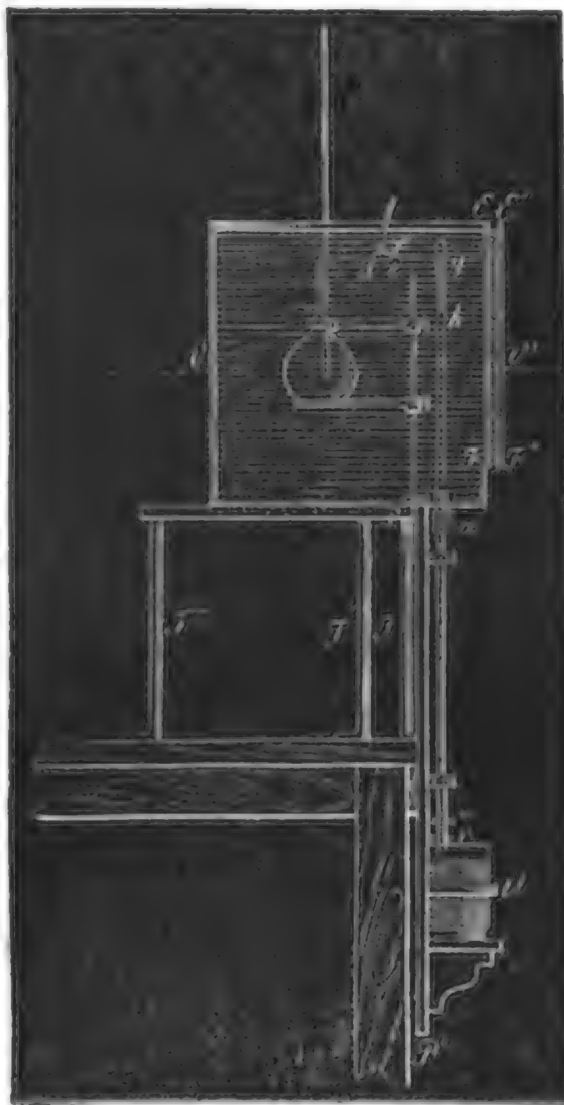
Nachdem der Apparat so vorgerichtet ist, pumpt man ihn mehrmals leer, und läßt jedesmal die Luft langsam wieder eintreten, um damit die Röhre MN auszutrocknen. Nach 40 bis 50maliger Auspumpung kann man den Ballon als vollständig getrocknet betrachten; dann pumpt man ihn noch einmal und zwar möglichst vollkommen aus. Die Luftpumpe, die Regnault benutzte, brachte bei seinen ersten Versuchen das Vacuum schwierig unter zwei Millimeter herab, allein, nachdem sie gereinigt worden, gab sie oft das Vacuum bis auf 1 Millimeter.

Sobald das Vacuum möglichst vollkommen ist, verschließt man die Röhre fl vor der Lampe. Man umgiebt den Ballon A mit schmelzendem Eise und mißt, nach einiger Zeit, den Höhenunterschied der beiden Quecksilbersäulen mit dem Kathetometer. So hat man die Spannung der im Ballon zurückgebliebenen trockenen Luft bei 0° C. Nun nimmt man das Eis weg, erhitzt den Ballon durch einige

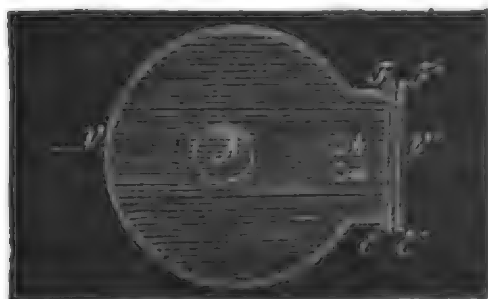
I.



II.



III.



Kohlen, die in einen Löffel mit gekrümmtem Stiele gelegt sind und bringt das Kügelchen durch Ausdehnung des darin enthaltenen Wassers zum Bersten. Man umgiebt den Ballon aufs Neue mit schmelzendem Eise und mißt nach Verlauf einiger Zeit den Höhenunterschied der beiden Menisken. Dieser Unterschied, verringert um den, der vor dem Bersten des Kügelchens zwischen den Höhen der beiden Menisken vorhanden war, giebt die Spannkraft des Wasserdampfes bei 0°. Man traf die Sorgfalt, diese Messungen in Zwischenzeiten von zehn Minuten hinreichend oft zu wiederholen, um sich zu überzeugen, daß die Höhenunterschiede

recht constant waren. Um diese Bestimmungen bei höheren Temperaturen auszuführen, setzte man das Planglas in seinen Rahmen EFGH, füllte das Gefäß mit recht klarem Wasser und verfuhr genau so, wie bei der ersten Reihe (S. 105). Um die durch die Dazwischensetzung des Glases und Wassers bewirkte prismatische Ablenkung der Lichtstrahlen zu ermitteln, hatte man, wie bei den Versuchen der ersten Reihe (S. 104) auf das Barometer b o einen Merkstrich gezogen, und auf die Röhre ah eine Centimetertheilung. Durch diese Methode erhielt man eine Reihe von Bestimmungen, von denen ich eine Anzahl in die nachstehende Tabelle mit der Bezeichnung Regnault II. aufgenommen. Bei allen Versuchen ist es von Wichtigkeit, daß das Barometer vollkommen richtig sei; auch sah man darauf, den Apparat so einzurichten, daß das Barometer b o in jedem Augenblicke der Versuche leicht mit einem Normalbarometer verglichen werden konnte. Zu dem Ende trug das Bret, an welchem die Barometerröhren befestigt waren, ein Metallstück r mit einer lothrechten Schraube, die an beiden Enden in eine abgerundete Spitze endigte. Diese Schraube ward gedreht, bis ihre untere Spitze mit dem Quecksilberspiegel der Wanne im Niveau war. Während das Glas nicht in seinem Rahmen war, maß man mit dem Kathetometer den Abstand des Quecksilberspiegels im Barometer b o von der oberen Spitze der Schraube. Um dann die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule zu haben, brauchte man nur zu diesen Abstand die Länge der Schraube von Spitze zu Spitze zu messen, was, wenn man die Schraube zweckmäßig emporgedreht hatte, mit dem Kathetometer sehr genau geschah.

Die Richtigkeit des Barometers kann noch auf eine andere, ebenfalls einer großen Genauigkeit fähige Methode geprüft werden. Durch Eingießen einer größeren Menge Quecksilber in das Gefäß U, oder durch Wegnehmen einer gewissen Menge von demselben, kann man nämlich die Geräumigkeit der barometrischen Kammer innerhalb großer Grenzen verändern, und wenn das Barometer vollkommen luftfrei ist, muß dabei seine Höhe dieselbe bleiben, welch eine Geräumigkeit die barometrische Kammer auch haben möge; sobald das Barometer einen auch noch so geringen Antheil Luft enthält, ist dies nicht mehr der Fall.

Derselbe Apparat eignet sich sehr gut zur Bestimmung der Spannkräfte des Wasserdampfes in niederen Temperaturen, nur bedient man sich dann nicht mehr des Blechgefäßes VV', sondern einer Glasglocke von kleinerer Dimension, die etwa 20 Liter faßt. Die Barometerröhren sind dann einfach an ihrem Brete befestigt und der Ballon A befindet sich in größerem Abstande von diesen Röhren. Zuerst wird der Ballon mit schmelzendem Eise umgeben, um die Dampfspannung bei 0° zu bestimmen, dann nimmt man das Eis weg und gießt in die Glocke eine concentrirte Lösung von Chlorcalcium, die man, indem man Eis darin auflöst, schrittweise in ihrer Temperatur erniedrigt. Diese Lösung muß fortwährend umgerührt werden; es gelingt ziemlich leicht, die Temperatur, wenn auch nicht durchaus stillstehend zu machen, doch so lange man will innerhalb sehr enger Grenzen zu halten, wenn man im Moment, wo die Temperatur zu steigen anfängt, kleine Mengen zerstoßenen Eises hineinwirft. Um größere Kälte zu erlangen, wandte man krystallisirtes Chlorcalcium an, welches man schichtenweise mit Schnee mengte. So wie dies Gemenge flüssig wurde, rührte man es fortwährend um, dadurch sank die Temperatur allmälig so weit, daß nur noch sehr wenig Eis auf der Oberfläche der Flüssigkeit schwimmen blieb. Im Augenblick des Minimums, das man übrigens durch Einschüttung kleiner Mengen Schnee einige Zeit unterhalten kann, machte

man die Beobachtung, unter fortdauerndem Umrühren der Flüssigkeit. Um die Temperatur des Bades zu erhöhen, wurden kleine Mengen einer concentrirten und heißen Chlorcalciumlösung in die Glocke geschüttet, wodurch man die geeignete Temperatursteigerung erhielt. Es wurde eine erhitzte Chlorcalciumlösung, und nicht reines Wasser angewandt, um nicht das Erkältungsvermögen der Flüssigkeit des Bades zu verringern; so vermochte man eine neue Temperatursenkung durch Hinzufügung von gestoßenem Eise zu bewirken. Einleuchtend ist, daß man die Temperatur desto leichter stationär halten kann, je mehr dieselbe sich der der Umgebung nähert; auch ist die Veränderung der Spannkraft des Wasserdampfes mit der Temperatur in diesem Falle am beträchtlichsten. Unterhalb — 20° C. bewirkt ein Wechsel von einem Zehntelgrad in der Temperatur nur unmerkliche Veränderungen in der Spannkraft des Wasserdampfes. Resultate dieser Versuche enthält die Tabelle mit der Bezeichnung Regnault III.

Das Verfahren, abgeändert wie eben beschrieben, kann für Temperaturen niedriger als die der umgebenden Luft dienen; allein Regnault hat sich durch directe Versuche überzeugt, daß es auch genaue Resultate giebt für Temperaturen, die um mehrere Grade höher sind, als die der Atmosphäre. Zu dem Ende stellte man den Ballon wieder in den Blechkasten VV', was leicht geschah, ohne etwas aus einander zu nehmen; die Barometerröhren blieben außerhalb des Kastens und die Tubulaturen a und b des Blechgefäßes wurden durch Pfropfen verschlossen. Die Beobachtungen sind ziemlich genau, so lange man das Wasser nicht mehr als 15 Grad über die Temperatur der Umgebung erwärmt; allein über diese Grenze hinaus fängt das Wasser an zu destilliren und sich in den Röhren zu verdichten; dann werden die Beobachtungen unsicher. Auf diese Weise wurden Resultate erhalten, welche die Tabelle mit der Bezeichnung Regnault IV. enthält.

Wesentlich für die Genauigkeit der Versuche ist es, daß der Ballon vor dem Bersten des Kügelchens vollkommen ausgetrocknet sei, dahin gelangt man, wenn man den Ballon mehrmals mit einer guten Luftpumpe evacuirt und trockene Luft wieder eintreten läßt. Regnault wollte sich überzeugen, ob man nicht durch Erhitzung des Ballons bei dem Auspumpen zu einer vollständigeren Trocknung desselben gelange und demgemäß für Dampfspannungen bei 0° C. größere Werthe erreiche.

Der Apparat wurde folgendermaßen abgeändert: Das mit Wasser gefüllte Kügelchen wurde nicht mehr in den Ballon gebracht, sondern in eine kleine Seitenröhre mn, welche an einem Ende in die kupferne Tubulatur f eingekittet und am anderen mit einer Röhre voll schwefelsaurem Bimstein verbunden war. Man trocknete den Apparat, wie gewöhnlich mittelst einer Luftpumpe, allein um die Austrocknung wirksamer zu machen, umgab man den Ballon mit Kohlen und erhitzte ihn dadurch bis 300° oder 400° C.; auch erhitzte man die Barometerröhre. Die Pumpe nahm zuletzt die Luft vollständiger weg, als bei den Versuchen, bei denen man den Ballon nicht erhitzte. Man verschloß die Röhre bei l (Fig. 1. S. 107) vor der Lampe. Man wartete bis zum anderen Morgen, um die Quecksilberröhre gleiche Temperatur annehmen zu lassen, umgab darauf den Ballon mit Eis und bestimmte bei 0° die Spannkraft der im Apparate gebliebenen Luft. Ohne das den Ballon umgebende Eis wegzunehmen, brachte man das in die Röhre mn eingeschlossene Kügelchen zum Bersten, und das Wasser destillirte in den Ballon. Man löste die Röhre

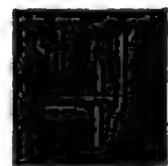
mn ab, indem man den capillaren Theil k zuschmolz. Der Apparat war nun fertig und die Versuche wurden wie oben angestellt. Auf diese Weise wurden Resultate erhalten, von denen wir einige in nachfolgender Tafel mit der Bezeichnung Regnault V. aufgenommen; sie gaben für die Spannkraft des Wasserdampfes bei 0° schwächere Werthe, als man durch das erste Verfahren erhielt.

Endlich ist es leicht, den Apparat Fig. I. II. S. 107 zur Bestimmung der Spannung des Dampfes im absoluten Vacuo zu gebrauchen. Zu dem Ende schließt man das Wasser nicht mehr in ein Kügelchen, sondern bringt davon eine große Menge unmittelbar in den Ballon. Ist der Apparat wie gewöhnlich zusammengestellt, so evacuirt man ihn mit der Luftpumpe, erhitzt den Ballon A durch einige glühende Kohlen dergestalt, daß sich eine kleine Menge Wasser in dem Barometerrohr ab verdichtet. Durch fortgesetztes Pumpen erlangt man eine anhaltende Destillation des im Ballon und im Barometerrohre befindlichen Wassers, und dieses Wasser verdichtet sich in der Röhre mit schwefelsaurem Bimstein MN. Auf diese Weise destillirt man mehrere Grammen Wasser unter einem sehr schwachen Druck über, und wenn man dadurch alle Luft aus dem Apparate getrieben, verschließt man die Röhre bei l vor der Lampe. Die Bestimmung der Spannkraft des Wasserdampfes geschieht auf gewöhnliche Weise. Auf diese Weise wurden Resultate erhalten, welche wir unter der Bezeichnung Regnault VI. in der nachfolgenden Tabelle aufgenommen.

Die eben beschriebenen Verfahrungsweisen lassen sich auch sehr gut zur Bestimmung der Spannkräfte von Dämpfen anderer Flüssigkeiten als Wasser anwenden, und sie erfordern nur eine sehr kleine Menge der anzuwendenden Substanz. Sind diese Flüssigkeiten von der Art, daß sie den Kitt angreifen, so muß man die Röhren nur äußerlich an die Tubulatur edf kitten; es ist auch zweckmäßig Röhren anzuwenden, die in ihre kupfernen Tubulaturen eingeschmirgelt sind, damit sie diese nahezu verschließen. Der Apparat, so wie er oben S. 107 abgebildet ist, eignet sich indeß nur für Spannkräfte unter 200 Millimeter. Wenn es sich darum handelt, größere Spannungen zu bestimmen, so wendet Regnault den nachstehend abgebildeten Apparat an. Diesen benutzte Regnault nicht beim Wasserdampf, sondern zur Bestimmung der Spannkräfte sehr flüchtiger Flüssigkeiten, wie Aether, Schwefelkohlenstoff ꝛc. ꝛc. Er besteht aus einer gekrümmten Röhre abc von 15 Millim. innerem Durchmesser, die sich in einer feineren gekrümmten Röhre ce endigt. Man füllt den verschlossenen Schenkel ab mit Quecksilber und kocht dieses sorgfältig aus, um es vollständig von Luft und Feuchtigkeit zu befreien. Sobald das Quecksilber erkaltet ist, bringt man in den Schenkel bc eine kleine Menge der flüchtigen Flüssigkeit, und kocht dieselbe einige Augenblicke, um sie von ihrem etwaigen Luftgehalte gänzlich zu befreien; dann läßt man, durch zweckdienliches Neigen der Röhre, eine kleine Portion dieser noch heißen Flüssigkeit in den verschlossenen Schenkel ab fließen. Die im Schenkel bc zurückgebliebene Flüssigkeit treibt man durch Sieden aus, was man durch unvollständiges Auspumpen erleichtert. So bleibt der Schenkel bc mit trockner Luft gefüllt. — Hierauf wird die Röhre abc am Blechgefäß VV' befestigt in vollkommen lothrechter Stellung und



hinter dem Glase. Die Röhre ce kittet man in ein dreiarmiges Kupferstück edf, dessen Tubulatur d zu dem mit einem Hahn r versehenen manometrischen Apparat hilk führt. In der Tubulatur f befindet sich ein feines Rohr fg eingekittet, welches man erforderlichen Falls mit einer kleinen Luftpumpe verknüpfen kann. Die beiden communicirenden Röhren ih und kl werden vollständig mit Quecksilber gefüllt, wobei die im Apparat enthaltene Luft durch die offene Röhre fg entweicht; diese Röhre verschließt man vor der Lampe. Um den Druck zu verringern, läßt man durch Oeffnen des Hahnes r Quecksilber aus dem Manometer abfließen, dadurch wird die im Schenkel bc enthaltene Luft in einen größeren Raum verbreitet und folglich ihre Spannkraft geschwächt. Man läßt so viel Quecksilber ausfließen, daß das Niveau in dem verschlossenen Schenkel ab bis m herabsinkt. Die Spannung des Dampfes wird gemessen durch den Druck der Atmosphäre, verringert um die Quecksilbersäule $\alpha\beta$ im Manometer und die mn in der gekrümmten Röhre abc. Der Capillareinfluß der dünnen Wasserschicht, die sich über dem Meniskus der Röhre ab befindet, wird, nach den Versuchen, durch directe Messungen bestimmt, wobei man durch Oeffnen der Röhre bei a den Druck in beiden Schenkeln ab und bc zur Gleichheit bringt. Das Gefäß VV' wird mit Wasser gefüllt, welches man, wie oben S. 105 gesagt worden, in einer constanten Temperatur erhält. — Durch folgendes Verfahren überzeugt man sich leicht, ob der Apparat gehörig eingerichtet und keine Luft im Schenkel ab geblieben sei. Man macht eine erste Reihe von Bestimmungen, den Quecksilberspiegel bei m haltend; dann läßt man diesen durch Ausfließen von Quecksilber auf m' herabsinken. Nun ist der vom Dampf eingenommene Raum doppelt so groß, wie beim ersten Versuch. Wenn im Schenkel ab die geringste Menge Luft enthalten wäre, würde man beim zweiten Versuche nicht dieselbe Dampfspannung, wie beim ersten erhalten. — Wollte man durch dasselbe Verfahren die Dampfspannung einer bei niederen Temperaturen wenig flüchtigen Flüssigkeit untersuchen, so verknüpfte man die Röhre fg mit einer kleinen Luftpumpe, verdünnte zunächst mittelst derselben die im Schenkel bc enthaltene Luft, und schmölze darauf die Röhre fg zu. Der dreimal durchbohrte



Hahn r macht diese verschiedenen Manipulationen sehr leicht. — Will man unter stärkeren Drucken, als der der Atmosphäre, Versuche machen, so schmilzt man die Röhre fg in einem Momente zu, wo das Manometer kein Quecksilber enthält. Man gießt alsdann Quecksilber in die Röhre kl; dadurch wird die in der Röhre hi befindliche Luft in einen immer kleineren Raum gedrängt und somit ihre Spannkraft erhöht. — Das eben beschriebene Verfahren ist sehr bequem für sehr flüchtige Flüssigkeiten, weil es erlaubt, deren Spannkräfte zwischen sehr ausgedehnten Grenzen zu bestimmen. Beim Wasser hat es Regnault nicht angewandt, weil er es, wegen der großen Zahl von Messungen, die es erfordert, bei schwachen Spannungen für viel weniger genau hält, als die bereits beschriebenen Methoden, bei welchen er sich bemüht hat, die Anzahl der Messungen möglichst zu verringern. — Die Menisken in dem gekrümmten Rohre abc und im Manometer hikl wurden gleichzeitig von zwei Beobachtern mit zwei Kathetometern gemessen. Diese Vorsicht ist nothwendig, besonders bei etwas beträchtlichen Spannungen, weil die in der Röhre hi des Manometers befindliche Luft als Luftthermometer functionirt. Geschehen die Beobachtungen successive, so können daraus beträchtliche Fehler entspringen, indem kleine Temperaturänderungen in der umgebenden Luft Verschiebungen der Menisken bewirken.

Bei den meisten der obigen Versuche wird die Quecksilbersäule, welche den Druck überträgt, bis zu derselben Temperatur erwärmt, wie der Dampf, dessen Spannung man mißt, und zuweilen steht der Raum, in welchem sich der Dampf entwickelt, in leichter Gemeinschaft mit der das Quecksilber enthaltenden Röhre; das geschieht vor allem bei dem S. 104 beschriebenen Apparat. Wenn nun in den Temperaturgrenzen, bei denen man arbeitet, die Spannung des Quecksilberdampfes beträchtlich ist, so kann sich diese Spannung zu der, der in Beobachtung genommenen Flüssigkeit addiren und die Bestimmungen unrichtig machen. Es ist also nothwendig, die Spannung des Quecksilberdampfes zwischen 0° und 100° direct zu bestimmen.

Aus seinen Versuchen, die ich hier nicht näher anführen will, schloß Regnault, daß die Spannung des Quecksilberdampfes bei 100° C. ungefähr $0^{mm},5$ sei und bei 50° C. kaum $0^{mm},10$ betrage, unterhalb 50° C. also beinahe zu vernachlässigen sei. Er brachte daher in seinen Versuchsresultaten über die Spannung des Wasserdampfes keine Correctur wegen der Spannung des Quecksilberdampfes an.

Die in den Vorhergehenden aus einander gesetzten Methoden eignen sich nur für Temperaturen unterhalb 60 bis 70° C. Bei höheren Graden zertheilt sich das Wasser so rasch in ungleich heiße Schichten, daß es zur Verhütung dieses Uebelstandes eines fortwährenden Umrührens bedarf. Ueberdies werden diese Methoden bei Temperaturen über 100° gänzlich unbrauchbar. Für hohe Temperaturen nahm Regnault seine Zuflucht zu einem Verfahren, welches von mehreren Physikern, namentlich von Arago und Dulong (s. S. 96 ff.) angewandt worden ist. Es besteht darin, daß man die Temperatur bestimmt, bei welcher das Wasser unter einem bestimmten Drucke siedet. Es hat den Vorzug, daß es bei höheren Drucken angewandt werden kann, und liefert, zweckmäßig ausgeführt, sehr genaue Resultate.

In dem Apparate von Arago und Dulong kam das Wasser nicht wirklich ins Sieden. Seine Spannkraft wurde durch Wirkung der Wärme bis zu einem gewissen Maximum gesteigert, welches man mittelst eines Manometers bestimmte, während zugleich ein in den Dampf und ein in das flüssige Wasser des Kastens getauchtes Thermometer beobachtet wurden. Zu anderen Malen beobachtete man gleichzeitig die Thermometer und das Manometer, wenn die Temperatur noch im Steigen war und sich dem Maximo näherte. Bei dieser Verfahrungsweise steht zu fürchten, daß die Thermometer, welche nothwendig gegen die Temperatur des Dampfes etwas zurückbleiben, nicht denselben Grad wie diese erreichen im Moment, wo sie ihr Maximum angeben. Der Fehler, der daraus entspringen kann, ist bei Versuchen unter großen Drucken wahrscheinlich sehr schwach oder ganz unmerklich, weil dann ein sehr kleiner Temperaturunterschied einer großen Aenderung in der Spannkraft entspricht; allein bei schwachen Drucken, z. B. bei kleineren als der der Atmosphäre, würde er vermuthlich nicht zu vernachlässigen sein. Allein es ist leicht, dieses Verfahren gegen allen Einwurf zu sichern, wenn man den Versuch unter genau denselben Umständen anstellt, wie den, bei welchem zur Bestimmung des Siedepunktes an den Thermometern Wasser unter dem gewöhnlichen Druck der Atmosphäre siedet; und die Temperatur, bei welchem Wasser unter anderen Drucken zum Sieden kommt, läßt sich mit derselben Genauigkeit bestimmen. Dazu braucht

man nur Wasser in einem Gefäße sieden zu lassen, welches mit einem etwas großen Raume communicirt, in welchem man Luft nach Belieben zusammendrückt oder ausdehnt. Diese Luft bildet eine künstliche Atmosphäre, welche auf die Oberfläche des heißen Wassers einen Druck ausübt. Solchergestalt erhält man einen eben so steten Siedepunkt, wie beim Kochen des Wassers an freier Luft und man kann diese Temperatur so lange stationär halten, wie man will. Der zu diesem Behufe eingerichtete Apparat ist nachstehend abgebildet. Er besteht aus einer kupfernen Retorte A, verschlossen durch einen aufgebolzten Deckel. Dieser Deckel trägt vier unten geschlossene eiserne Röhren, von denen zwei bis zum Boden der Retorte,



die beiden andern aber nur bis zu ihrer Mitte hinabgehen. Diese Röhren, welche 7 Millim. innern Durchmesser und etwa 1 Millim. Dicke haben, sind umhüllt von einem Staucher aus sehr dünnem Kupfer, der am Deckel befestigt ist und nach oben vier Oeffnungen o, o, o, o hat. Der Hals der Retorte steckt in einem Rohr T T' von etwa 1 Millim. Länge, welches umgeben ist von einer kupfernen Hülle, durch die man unausgesetzt einen Strom kalten Wassers leitet. Dieses Rohr communicirt mit einem kupfernen Ballon B, der 24 Liter faßt und eingeschlossen ist in

ein Gefäß VV' voll Wasser von der Temperatur der Umgebung. Der Ballon hat unten ein zweiarmiges Ansatzrohr; in einen dieser Arme xs kittet man die Röhre egh des Apparates II. auf S. 107, wenn man die Versuche unter Drucken schwächer als der der Atmosphäre anstellt, oder die Röhre pq des auf S. 115 abgebildeten Apparates, wenn die Versuche unter beträchtlicheren Drucken geschehen sollten. Der zweite Arm gemeinschaftet, mittelst einer bleiernen Röhre ll', entweder mit einer gewöhnlichen Luftpumpe, um die Luft zu verdünnen, oder mit einer Druckpumpe, um sie zu verdichten. Die vier eisernen Röhren sind bis auf einige Centimeter von der obern Mündung mit Quecksilber gefüllt; sie nehmen Thermometer auf, deren Behälter bis zu ihrem Boden hinabgehen, zwei dieser Thermometer befinden sich sonach innerhalb des Dampfs, die beiden anderen innerhalb des Wassers. Man macht den Apparat so weit luftleer, daß nur ein sehr schwacher Druck darin bleibt. Dann erhitzt man das Wasser bis zum Sieden, wobei der Dampf sich in dem Refrigerator TT' verdichtet und in die Retorte zurückfließt. Der Druck, unter welchem das Sieden geschieht, wird gemessen durch den Höhenunterschied des Quecksilbers in der Röhre und des im Barometer. Die Quecksilbersäule, welche in der mit dem Ballon gemeinschaftenden Röhre gehoben wird, ist niemals absolut stationär; sie besitzt eine kleine Oscillationsbewegung, aber diese Bewegung hat nur eine ungemein beschränkte Amplitude, die bei zweckmäßiger Regulirung des Feuers unter der Retorte nicht auf 0,1 Millim. steigt. Der Beobachter verfolgt mit dem Faden des Fernrohrs am Kathetometer den Meniskus und kann ihn leicht in Momenten absoluten Stillstands beobachten. Die Lage, welche dann der Meniskus einnimmt, ist genau die mittlere zwischen den Extremen, die er bei den kleinen Oscillationen erreicht. Das Barometer, welches in derselben Wanne steht, macht nur wenig merkliche Oscillationen, so daß man es nach der Beobachtung des Meniskus gemächlich ablesen kann. Ein zweiter Beobachter liest von weitem die in die Retorte versenkten Thermometer mit einem Fernrohr ab und vermeidet somit die Parallaxe bei der Ablesung.

Auf diese Weise wurde bei ein und demselben Druck eine gewisse Anzahl von Bestimmungen gemacht, in Zwischenzeiten von 8 bis 10 Minuten zwischen je zwei auf einander folgenden; so war es leicht, die vollkommene Constanz der bei gleichem Drucke von den Thermometern angezeigten Temperaturen zu erkennen, und sich zu überzeugen, daß die geringste Aenderung im Drucke von einer entsprechenden Aenderung in der Temperatur begleitet war. Um einen größern Druck im Apparate hervorzubringen, öffnete man vorsichtig den Hahn r und ließ die nöthige Luftmenge eintreten, um den gewünschten Druck herzustellen. Dadurch erhielt man die Siedetemperaturen des Wassers stufenweise von den schwächsten Drucken an bis zu dem der Atmosphäre. Dieser letztere wurde am Barometer des Apparates selbst gemessen nach dem oben S. 108 angegebenen Verfahren.

Um die Siedepunkte des Wassers für Drucke größer als die der Atmosphäre zu bestimmen, richtete man den Apparat ein, wie Fig. S. 113, d. h. ersetzte den Meßapparat Fig. II. S. 107, durch den Fig. S. 115, und brachte die Röhre ll' mit einer Druckluftpumpe in Verbindung. Die Röhre mn hat etwa 4 Meter Länge und 14 Millimeter innern Durchmesser; sie ist an einem genau lothrechten Brete befestigt. Drei zweckmäßig vertheilte Thermometer mit großen Behältern geben die mittlere Temperatur der Quecksilbersäule in der Röhre mn. Mittelst der Druckpumpe stellt man jeden beliebigen Druck im Apparate her. Dieser Druck wird gemessen durch die

Barometerhöhe, vergrößert um die Quecksilberhöhe, welche den Unterschied der beiden Quecksilberspiegel in den Röhren m n und p q darstellt. Die Bestimmung dieses letztern Unterschieds erfordert Vorsicht, wenn man eine große Genauigkeit erlangen will. Bei gegenwärtiger Einrichtung des Apparats oscilliren die Quecksilbersäulen beide in den Röhren m n und p q. Diese Oscillationen haben nur eine kleine Amplitude, und sind oft nur in dem stark vergrößernden Fernrohr des Kathetometers sichtbar. Dennoch würde man sich Fehlern aussetzen, die nicht zu vernachlässigen sind, wenn man den Meniskus im Rohre m n und den im Rohre p q successiv mit demselben Kathetometer messen wollte. Dies ist übrigens auch unmöglich, wenn die Niveaudifferenz größer ist als 1 Meter, welches an unseren Kathetometern der längste Lauf ist. Man bediente sich zu gleicher Zeit zweier Kathetometer. Mit jedem dieser Instrumente verfolgte man einen der Menisken; es war dann leicht, die vollkommen entsprechenden Lagen beider Menisken zu beobachten, wenn man die Momente wählte, wo die Oscillationen um den Gleichgewichtspunkt nur eine sehr kleine Amplitude, etwa von 0,1 Millim. hatten. Die Beobachtungen geschahen gleichzeitig durch zwei Personen, auf ein von einer derselben gegebenes Zeichen. Die Regulirung der Kathetometer geschah durch einen und denselben Merkstrich, der auf die Röhre p q, sehr dicht bei der Lage, wohin man beständig den Meniskus führte, gezogen war. Auch auf die Röhre m n waren in Abständen von 0,9 Meter Merkstriche gezogen, deren Abstände mittelst eines Kathetometers oftmals geprüft wurden und dabei niemals Unterschiede von 0,1 Millim. zeigten, was hinreichend die Genauigkeit des Meßverfahrens beweist.

Die bei diesen Versuchen angewendeten Quecksilberthermometer waren gewöhnlich mit geraden Stielen. Ein Theil der Quecksilbersäulen ragte nothwendig aus dem Deckel der Retorte hervor, und erforderte also, da er sich nicht in der Temperatur des Dampfs befand, eine Berichtigung. Diese Berichtigung wäre leicht, wenn man die mittlere Temperatur der Säulen mit hinreichender Genauigkeit kennte. Wenn der Stiel sich in freier Luft befindet, ist die Temperatur der Säule an verschiedenen Punkten ungleich, je nach dem Abstande dieser Punkte vom Deckel des Kessels. Um jede Unsicherheitsquelle zu vermeiden, hatten Arago und Dulong die Stiele ihrer Thermometer unmittelbar am Austritt aus den eisernen Röhren rechtwinklich gekrümmt (s. oben S. 98) und in horizontale Glasröhren eingeschlossen, welche ein Strom kalten Wassers, dessen Temperatur ein kleines Thermometer angab, durchstrich. Mittelst dieses Kunstgriffs verringert man bedeutend die Säulenlänge, deren Temperatur unsicher ist, allein es ist an der Biegung immer ein beträchtliches Stück des Stieles, das nicht in das Wasser gebracht werden kann und dessen Temperatur man nicht kennt. Ueberdies bieten die gekrümmten Thermometer mehrere bedeutende Uebelstände dar. Soll ihr Caliber richtig sein, so muß ihre Scala gänzlich in dem horizontalen Theil des Stiels enthalten sein; folglich trifft die Berichtigung eine beträchtliche Anzahl von Graden. Die Lage des festen Punkts ist bei gekrümmten Thermometern auch schwieriger zu bestimmen als bei geraden. Diese Betrachtungen haben Regnault veranlaßt, Thermometer mit geraden Stielen anzuwenden und sie so anzubringen, daß nur ein Theil

der Scala zur Retorte herausragte. Ein kleines Thermometer, etwa in der Mitte der nicht eingetauchten Säulen, gab die Temperatur, welche man als Ausdruck der Mitteltemperaturen der nicht eingetauchten Quecksilbersäulen ansah.

Zu den Versuchen bei niederen Drucken als der der Atmosphäre dienten Thermometer, die von 0° bis 100° gingen und 5 — 8 Abtheilungen auf den Grad umfaßten. Es war daher leicht, $^{1}/_{60}$ Grad mit Sicherheit abzulesen. Die vier Thermometer, die zu den Versuchen unter großem Drucke dienten, gingen von 0° bis etwa 240° C. Der Centigrad entsprach 2,5 bis 3 Theilen ihrer Scala. Alle diese Instrumente waren von Regnault selbst mit großer Sorgfalt construirt und verificirt. — Von den zahlreichen Beobachtungen, welche Regnault nach der eben beschriebenen Methode erhielt, habe ich eine Anzahl mit der Bezeichnung Regnault VII. in der nachstehenden Tabelle eingetragen. Regnault hat die Angaben der in das Wasser und der in den Dampf getauchten Thermometer jede für sich angegeben. Wenn das Wasser unter niedrigen Temperaturen siedete, so gab das in die Flüssigkeit getauchte Thermometer eine beträchtlich höhere Temperatur an, als das in dem Dampfe befindliche Thermometer. Bei sehr schwachen Drucken stieg der Unterschied bis zu 0°,7. Er nimmt ab in dem Maße, in welchem der Druck, bei welchem das Sieden geschieht, steigt, und wird Null, wenn der Druck beim Sieden dem der Atmosphäre gleich ist. Bei höheren Drucken bemerkt man keinen erheblichen Unterschied mehr. Ich habe in der Tabelle bei den niederen Drucken beide Thermometerangaben unter einander gestellt.

Für Messungen der Elasticität des Wasserdampfes in niederen Temperaturen empfiehlt sich durch Einfachheit Prechtl's Dampfmesser*). Derselbe besteht aus einer langen heberförmig gebogenen Barometerröhre, deren einer Schenkel mit Quecksilber gefüllt und bis zur Abwesenheit aller Luft ausgekocht wird; der andere enthält dann etwas Wasser, ist durch siedenden Wasserdampf gleichfalls völlig luftleer gemacht und am Ende zugeschmolzen, so daß also der Unterschied des Quecksilberniveaus in beiden, um etwa 1 Zoll von einander abstehenden und völlig lothrecht gehaltenen Schenkeln die Elasticität des in dem einen derselben befindlichen Wasserdampfs angiebt. — Die Herstellung des Apparats ist mit einigen Schwierigkeiten verbunden, weil die Hitze, die das Wasser zum Sieden bringen soll, auch auf das Quecksilber in diesem und im andern Schenkel wirkt, es zum Aufwallen bringt und ein Eindringen des Wassers in dasselbe zur Folge hat, wonach dann meistens die Röhre zerspringt und auf allen Fall unbrauchbar wird. Muncke giebt folgendes Verfahren an: Auf eine stark ziehende etwas große Kohlenpfanne setzte er einen angemessen hohen Schornstein aus Eisenblech, versah letztern seitwärts mit einer an ihm anliegenden und an der Berührungsstelle weit aufgeschlitzten Röhre, und als die Kohlen im starken Glühen waren, ließ er durch einen Gehülfen den etwa 8 Zoll hoch Wasser über dem gegen 1 Zoll hohen Quecksilbercylinder enthaltenden, in eine lange feine Spitze ausgezogenen, offenen Schenkel von unten auf durch die Röhre in die Höhe schieben, so daß der größte Theil der Spitze oben hervorragte. Das Wasser siedete bald bei ruhig bleibendem Quecksilber, und sobald als die letzten Antheile des Wassers über dem Quecksilber verschwunden waren, der Dampf aber noch stark aus der Spitze strömte, gab der

*) Wiener Zeitschr. Bd. I S. 383. Gehlers Physik. Wörterb. N. A. Bd. X. S. 1086. — Poggend. Annal. Bd. LXVII. S. 376.

Gehülfe ein Zeichen; Muncke verschloß sofort die Spitze mit Siegellack und der Schenkel wurde eilig nach unten aus der Röhre gezogen, um das Zerspringen des Glases zu verhüten. Nach dem Zuschmelzen der Spitze mittelst des Blasrohrs und dem Erkalten der Röhre sank das Quecksilber im andern Schenkel herab, im zugeschmolzenen bildete sich dagegen ein ungefähr 2 Par. Linien hoher Wassercylinder. Stellt man diesen demnächst gehörig montirten Apparat in einem geräumigen Zimmer auf, dessen Temperatur sehr langsam wechselt, zugleich aber sehr tief herabgeht, so giebt er mit Anwendung geprüfter Thermometer ein unübertreffliches Mittel zum Messen der Elasticität der Dämpfe in niederen Temperaturen. Muncke macht indeß darauf aufmerksam, daß man nicht vollkommen sicher sei, ob der den Dampf enthaltende Schenkel vollkommen luftleer sei (bei sorgfältiger Herstellung des Instruments könnte aber der zurückgebliebene Antheil Luft nur so gering sein, daß er zu vernachlässigen wäre) und daß die Ungleichheit der Capillarität in beiden Schenkeln eine sehr schwer zu corrigirende Fehlerquelle sei. Ausgehend von den wohl zusammen stimmenden Beobachtungen Regnault's, Magnus' und ihm selbst über die Elasticität des Wasserdampfes bei 0°, findet Muncke hierin ein Mittel, die constanten Fehler des Prechtl'schen Dampfmessers zu corrigiren, und für alle Temperaturen unter 0°, so wie für die nicht weit darunter liegenden genaue Bestimmungen zu erhalten. Der Unterschied nämlich der mit dem betreffenden Instrumente gefundenen Bestimmung der Elasticität für 0° und der als streng richtig angenommenen Regnault'schen Bestimmung derselben für diese Temperatur wird als constanter Fehler des Instruments angenommen und in allen Angaben desselben abgezogen.

Es sind außer von den genannten, einzelne Versuche und Reihen von Versuchen auch von anderen Physikern angestellt worden, z. B. die ältesten von Ziegler*) im J. 1768 veröffentlicht, von Gay-Lussac**), August***), Kämtz †), Priestley ††), von J. T. Mayer, Héron de Villefosse. Muncke †††) hat Beobachtungen unter dem Eispunkte angestellt, die jedoch, wegen der bei seinem Apparate stattfindenden Capillardepression, die nicht mit berechnet worden, zu große Resultate geben.

Die folgende Tafel, welche die Resultate der von den verschiedenen Physikern angestellten Versuche enthält, ist leicht verständlich: die erste Columne giebt die Temperatur des Dampfes an, die zweite Columne die Länge einer Quecksilbersäule in Par. Zollen, welche der Dampf von der nebenstehenden Temperatur zu halten vermag, ganz so wie der Druck der Atmosphäre nach der Länge der Quecksilbersäule, welcher er im Barometer das Gleichgewicht hält, bestimmt wird.

---

*) Specimen physico-chemicum de Digestore Papini, p. 27.
**) Biot, traité de phys. T. I. 287.
***) Poggend. Annal. Bd. V. S. 344.
†) Kämtz, Metereologie Bd. I. S. 290.
††) Journ. of the Asiatic soc. of Bengal for April 1833.
†††) Physik. Abhandl. Gießen 1816. Gehler, N. A. Bd. II. S. 340. Bd. X. S. 1069.

Resultate der verschiedenen Beobachtungen über die Elasticität des Dampfes bei verschiedenen Temperaturen.

Temperatur C.	Temperatur R.	Elasticität in Par. Zollen	Beobachter	Temperatur C.	Temperatur R.	Elasticität in Par. Zollen	Beobachter
—	—			+	+		
30°,59	24°,28	0,01	Regnault III.	12°,50	10°,00	0,409	Dalton
18,78	15,00	0,09	=	=	=	0,447	Muncke
16,83	13,44	0,04	=	12,75	10,20	0,40	Regnault VI.
12,50	10,00	0,090	Muncke	12,775	10,22	0,14	Watt
7,56	6,04	0,09	Regnault III.	12,80	10,24	0,390	Ure
6,61	5,29	0,101	Magnus	13,60	10,88	0,46	Regnault IV.
6,25	5,00	0,126	Muncke	13,75	11,00	0,18	Betancourt
5,31	4,25	0,109	Magnus	15,00	12,00	0,22	=
4,87	3,49	0,12	Regnault III.	=	=	0,38	Schmidt
4,45	3,56	0,158	Ure	15,56	12,44	0,49	Regnault I.
3,64	2,91	0,13	Magnus	15,575	12,46	0,328	Robison
0,00	0,00	0,000	Robison	=	=	0,484	Ure
=	=	0,000	Schmidt	16,25	13,00	0,27	Betancourt
=	=	0,188	Dalton	=	=	0,44	Schmidt
=	=	0,150	Southern	16,69	13,35	0,488	Southern
=	=	0,187	Ure	17,56	14,00	0,30	Betancourt
=	=	0,170	Muncke	18,26	14,69	0,591	Ure
=	=	0,17	Magnus	18,75	15,00	0,35	Betancourt
=	=	0,17	Regnault II. III.	=	=	0,55	Schmidt
			IV. V.	=	=	0,590	Dalton
+	+			=	=	0,675	Muncke
3,75	3,00	0,000	Betancourt	19,12	15,28	0,60	Regnault II.
4,45	3,56	0,094	Robison	20,00	16,00	0,40	Betancourt
=	=	0,234	Ure	=	=	0,61	Schmidt
5,00	4,00	0,02	Betancourt	20,17	16,12	0,68	Regnault II.
=	=	0,24	Regnault I.	20,51	16,40	0,66	Regnault IV.
5,56	4,45	0,216	Southern	21,14	16,91	0,516	Robison
6,25	5,00	0,02	Betancourt	=	=	0,681	Ure
=	=	0,11	Schmidt	21,25	17,00	0,45	Betancourt
=	=	0,278	Dalton	21,41	17,12	0,70	Regnault I.
=	=	0,276	Ure	22,25	17,80	0,685	Southern
7,50	6,00	0,05	Betancourt	22,50	18,00	0,52	Betancourt
=	=	0,15	Schmidt	=	=	0,76	Schmidt
8,05	6,44	0,30	Magnus	22,70	18,16	0,76	Regnault II.
8,75	7,00	0,07	Betancourt	23,34	18,67	0,61	Watt
9,00	7,20	0,31	Regnault IV.	23,75	19,00	0,58	Betancourt
9,73	7,76	0,33	Regnault I.	23,85	19,08	0,82	Magnus
10,00	8,00	0,10	Betancourt	23,93	19,14	0,806	Ure
10,01	8,01	0,188	Robison	24,36	19,48	0,69	Regnault IV.
=	=	0,337	Ure	25,00	20,00	0,65	Betancourt
11,125	8,90	0,328	Southern	=	=	0,90	Schmidt
11,25	9,00	0,12	Betancourt	=	=	0,852	Dalton
11,49	9,19	0,37	Regnault II.	=	=	0,958	Muncke
11,98	9,58	0,37	Magnus	25,56	20,44	0,89	Regnault II.
12,34	9,88	0,39	Regnault V.	26,25	21,00	0,75	Betancourt
12,50	10,00	0,15	Betancourt	26,71	21,37	0,769	Robison
=	=	0,28	Schmidt	=	=	0,947	Ure

Temperatur C.	Temperatur R.	Elasticität in Par. Zollen	Beobachter
+	+		
27°,23	21°,78	0,75	Watt
27,50	22,00	0,82	Betancourt
27,83	=	1,01	Schmidt
=	22,20	0,957	Southern
28,75	23,00	0,90	Betancourt
28,80	23,04	1,09	Regnault I. II.
29,49	23,59	1,097	Ure
30,00	24,00	0,97	Betancourt
30,96	24,76	1,24	Regnault II.
31,25	25,00	1,05	Betancourt
=	=	1,30	Schmidt
=	=	1,207	Dalton
32,28	25,82	1,107	Robison
=	=	1,276	Ure
32,49	25,99	1,33	Regnault II.
32,50	26,00	1,12	Betancourt
33,38	26,71	1,332	Southern
33,62	26,88	1,20	Regnault II.
33,75	27,00	1,22	Betancourt
=	=	1,42	Schmidt
35,00	28,00	1,20	Watt
=	=	1,32	Betancourt
35,05	28,04	1,538	Ure
36,25	29,00	1,42	Betancourt
37,50	30,00	1,52	=
=	=	1,93	Schmidt
=	=	1,711	Dalton
=	=	1,133	Muncke
37,84	30,27	1,501	Robison
=	=	1,745	Ure
38,38	30,70	1,42	Regnault II.
38,75	31,00	1,65	Betancourt
38,95	31,16	1,839	Southern
40,00	32,00	1,62	Watt
=	=	1,78	Betancourt
40,61	32,49	1,970	Ure
41,25	33,00	1,90	Betancourt
=	=	2,23	Schmidt
41,25	=	2,05	?
42,50	34,00	2,00	Betancourt
42,60	34,08	2,33	Regnault II.
43,40	34,72	2,111	Robison
=	=	2,304	Ure
43,66	34,92	2,46	Regnault VI.
43,75	35,00	2,15	Betancourt
=	=	2,68	Schmidt
=	=	2,415	Dalton
44,08	35,28	2,52	Regnault VI.
44,51	35,61	2,496	Southern
44,90	35,92	2,63	Magnus
45,00	36,00	2,27	Betancourt

Temperatur C.	Temperatur R.	Elasticität in Par. Zollen	Beobachter
+	+		
45°,70	36°,56	2,75	Magnus
46,17	36,94	2,636	Ure
46,18	37,00	2,43	Betancourt
46,23	36,98	2,80	Regnault I.
47,16	37,73	2,96	Regnault VII.
47,50	38,00	2,57	Betancourt
47,70	38,16	2,96	Regnault VII.
47,78	38,22	2,44	Watt
48,75	39,00	2,75	Betancourt
48,96	39,17	2,815	Robison
=	=	3,096	Ure
48,99	39,19	3,24	Regnault VII.
49,54	39,63	=	=
49,70	39,76	3,35	Regnault II.
50,00	40,00	2,92	Betancourt
=	=	3,64	Schmidt
=	=	3,274	Dalton
50,08	40,06	3,359	Southern
51,22	40,98	3,59	Regnault VI.
51,25	41,00	3,10	Betancourt
51,39	41,11	3,63	Regnault I.
51,75	41,40	3,593	Ure
52,50	42,00	3,27	Betancourt
53,34	42,67	3,75	Watt
53,75	43,00	3,47	Betancourt
54,53	43,62	3,706	Robison
=	=	4,096	Ure
54,74	43,79	4,23	Magnus
55,00	44,00	3,70	Betancourt
55,64	44,51	4,419	Southern
56,25	45,00	3,95	Betancourt
=	=	5,14	Schmidt
=	=	4,430	Dalton
56,81	45,45	4,75	Regnault VII.
57,23	45,78	4,22	Watt
57,30	45,85	4,756	Ure
57,38	45,90	4,75	Regnault VII.
57,50	46,00	4,25	Betancourt
58,37	46,70	5,09	Regnault VI.
58,68	46,94	5,14	Magnus
58,75	47,00	4,45	Betancourt
60,00	48,00	4,75	=
60,09	48,07	4,831	Robison
=	=	5,413	Ure
61,11	48,89	5,06	Watt
61,20	48,96	5,723	Southern
61,25	49,00	5,00	Betancourt
62,04	49,63	6,04	Regnault VII.
62,40	49,92	=	=
62,50	50,00	5,35	Betancourt
=	=	6,40	Schmidt

Temperatur		Elasticität in Par. Zollen	Beobachter	Temperatur		Elasticität in Par. Zollen	Beobachter
C.	R.			C.	R.		
+	+			+	+		
62°,50	50°,00	6,027	Dalton	80°,00	64°,00	12,40	Betancourt
62,88	50,30	6,192	Ure	80,84	64,67	12,95	Watt
63,75	51,00	5,70	Betancourt	81,25	65,00	13,20	Betancourt
64,45	51,56	6,00	Watt	=	=	14,07	Schmidt
65,00	52,00	6,05	Betancourt	=	=	13,632	Dalton
65,65	52,52	6,305	Robison	81,95	65,56	14,24	Magnus
=	=	7,065	Ure	82,23	65,78	13,80	Watt
65,86	52,69	7,19	Regnault VII.	82,25	65,80	14,30	Magnus
66,25	53,00	6,50	Betancourt	82,35	65,88	13,182	Robison
66,30	53,04	7,19	Regnault VII.	=	=	14,22	Ure
66,76	53,41	7,412	Southern	82,50	66,00	13,80	Betancourt
67,23	53,78	6,84	Watt	83,46	66,77	15,021	Southern
67,50	54,00	6,90	Betancourt	83,62	66,89	14,70	Watt
68,44	54,75	7,975	Ure	83,75	67,00	14,50	Betancourt
68,75	55,00	7,32	Betancourt	84,90	67,92	15,97	Regnault VII.
=	=	8,55	Schmidt	85,00	68,00	15,56	Watt
=	=	7,987	Dalton	=	=	15,25	Betancourt
69,45	55,56	7,72	Watt	85,11	68,09	15,97	Regnault VII.
70,00	56,00	7,85	Betancourt	85,12	68,10	15,86	Ure
71,21	56,97	8,116	Robison	=	=	15,92	Magnus
=	=	9,007	Ure	86,13	68,89	16,30	Watt
71,25	57,00	8,40	Betancourt	86,25	69,00	16,10	Betançourt
71,66	57,33	8,61	Watt	86,67	69,34	17,68	Regnault VII.
72,41	57,87	9,429	Southern	86,83	69,45	=	=
72,50	58,00	8,85	Betancourt	87,23	69,78	17,20	Watt
=	=	10,14	Schmidt	87,50	70,00	16,90	Betancourt
73,34	58,67	9,40	Watt	=	=	17,92	Schmidt
73,75	59,00	9,35	Betancourt	=	=	17,551	Dalton
=	=	10,42	Schmidt	87,91	70,33	16,748	Robison
74,00	59,20	10,13	Ure	=	=	17,83	Ure
74,83	59,86	10,32	Magnus	88,34	70,67	18,17	Watt
75,00	60,00	10,32	Watt	88,75	71,00	17,80	Betancourt
=	=	9,95	Betancourt	=	=	18,66	Schmidt
=	=	10,98	Schmidt	89,03	71,22	18,803	Southern
=	=	10,500	Dalton	89,73	71,78	19,00	Watt
75,18	60,14	10,76	Regnault VII.	89,75	71,80	19,19	Regnault VII.
75,53	60,42	=	=	89,90	71,92	=	=
76,25	61,00	10,40	Betancourt	90,00	72,00	18,70	Betancourt
76,48	61,18	11,13	Regnault VII.	=	=	19,71	Schmidt
76,76	61,41	=	=	90,69	72,55	19,80	Ure
76,79	61,43	10,368	Robison	90,80	72,64	20,04	Magnus
=	=	11,31	Ure	91,08	72,86	20,24	Regnault VII.
77,50	62,00	11,00	Betancourt	91,20	72,96	=	=
=	=	12,24	Schmidt	91,25	73,00	19,50	Betancourt
77,78	62,22	11,07	Watt	=	=	20,61	Schmidt
77,90	62,32	11,935	Southern	91,35	73,08	20,80	Watt
78,75	63,00	11,70	Betancourt	91,81	73,45	20,08	Magnus
78,95	63,16	12,94	Regnault VII.	92,50	74,00	20,60	Betancourt
79,21	63,37	=	=	=	=	21,80	Schmidt
79,45	63,56	12,07	Watt	93,48	74,78	21,223	Robison
79,86	63,65	12,74	Ure	=	=	22,14	Ure

Temperatur C.	Temperatur R.	Elasticität in Par. Zollen	Beobachter	Temperatur C.	Temperatur R.	Elasticität in Par. Zollen	Beobachter
+	+			+	+		
93°,75	75°,00	21,75	Betancourt	107°,50	86°,00	38,10	Betancourt
„	„	22,29	Schmidt	„	„	36,91	Schmidt
„	„	22,336	Dalton	108,06	86,45	35,65	Watt
94,59	75,67	23,090	Southern	108,11	86,49	37,62	Ure
94,85	75,88	23,22	Regnault VII.	108,75	87,00	40,00	Betancourt
94,93	75,98	„	„	„	„	38,42	Schmidt
95,00	76,00	22,90	Betancourt	108,89	87,11	36,55	Watt
96,25	77,00	24,15	„	109,73	87,78	37,50	„
„	„	24,30	Ure	110,00	88,00	42,20	Betancourt
96,84	77,47	25,05	Regnault VII.	„	„	40,24	Schmidt
96,88	77,50	„	„	„	„	38,788	Christian
97,50	78,00	25,50	Betancourt	110,16	88,13	41,751	Robison
98,75	79,00	26,67	„	„	„	40,44	Ure
98,90	79,12	27,22	Magnus	110,44	88,35	40,81	„
99,02	79,23	26,881	Robison	110,55	88,44	38,43	Watt
„	„	27,10	Ure	111,00	88,80	40,020	Christian
99,58	79,66	27,67	Regnault VII.	111,25	89,00	44,30	Betancourt
99,60	79,68	„	„	„	„	41,86	Schmidt
100,00	80,00	28,00	Betancourt	„	„	41,114	Arzberger
„	„	28,00	Schmidt	111,39	89,11	39,33	Watt
„	„	28,005	Arzberger	112,00	89,60	41,251	Christian
„	„	28,14	Taylor	112,20	89,76	42,107	Dulong
„	„	28,071	Dulong	112,23	89,78	40,22	Watt
100,17	80,14	28,26	Regnault VII.	112,50	90,00	46,40	Betancourt
100,38	80,12	28,147	Robison	„	„	43,77	Schmidt
„	„	28,158	Southern	112,68	90,14	43,91	Ure
„	„	28,15	Ure	112,78	90,22	41,20	Watt
100,55	80,44	28,15	Watt	112,95	90,36	44,30	Ure
100,74	80,67	28,67	Regnault VII.	112,50	90,40	42,728	Christian
101,25	81,00	29,60	Betancourt	113,61	90,89	42,23	Watt
101,66	81,33	29,38	Watt	113,75	91,00	48,40	Betancourt
102,50	82,00	31,30	Betancourt	„	„	45,89	Schmidt
„	„	31,05	Schmidt	114,00	91,20	44,205	Christian
102,71	82,17	31,34	Ure	114,08	91,34	43,15	Watt
102,78	82,22	29,95	Watt	114,73	91,78	44,00	„
103,75	83,00	33,00	Betancourt	114,90	91,92	47,20	Ure
„	„	32,56	Schmidt	115,00	92,00	50,50	Betancourt
103,89	83,11	30,75	Watt	„	„	48,02	Schmidt
104,60	83,68	33,589	Robison	„	„	45,436	Christian
„	„	33,35	Ure	115,55	92,44	45,93	Watt
104,68	83,74	33,39	Magnus	115,73	92,58	51,310	Robison
104,73	83,78	31,88	Watt	„	„	48,51	Ure
105,00	84,00	34,60	Betancourt	116,00	92,80	47,539	Christian
„	„	33,98	Schmidt	116,25	93,00	53,00	Betancourt
105,55	84,44	32,85	Watt	„	„	50,03	Schmidt
106,00	84,80	34,447	Christian	„	„	51,20	Mayer
106,25	85,00	36,45	Betancourt	116,84	93,47	50,29	Ure
„	„	35,39	Schmidt	116,94	93,55	46,93	Watt
106,39	85,11	33,75	Watt	117,00	93,60	49,007	Christian
107,14	85,71	34,65	„	117,50	94,00	55,30	Betancourt
107,39	85,91	36,69	Ure	„	„	51,84	Schmidt

Temperatur		Elasticität in Par. Zollen	Beobachter	Temperatur		Elasticität in Par. Zollen	Beobachter
C.	R.			C.	R.		
+	+			+	+		
118°,00	94°,40	51,099	Christian	128°,00	102°,40	69,564	Christian
118,06	94,45	48,81	Watt	128,06	102,45	65,60	Watt
118,51	94,81	52,86	Ure	128,47	102,78	70,75	Regnault VII.
118,75	95,00	57,80	Betancourt	128,50	102,80	71,12	⸗
⸗	⸗	54,18	Schmidt	128,75	103,00	81,00	Betancourt
119,00	95,20	52,699	Christian	⸗	⸗	75,29	Schmidt
119,45	95,56	50,60	Watt	129,00	103,20	72,026	Christian
120,00	96,00	60,50	Betancourt	⸗	⸗	70,178	Taylor
⸗	⸗	56,71	Schmidt	129,08	103,34	67,40	Watt
⸗	⸗	54,422	Christian	129,64	103,71	73,22	Ure
⸗	⸗	53,64	Taylor	130,00	104,00	84,00	Betancourt
120,28	96,22	52,51	Watt	⸗	⸗	78,22	Schmidt
120,46	96,37	56,67	Ure	⸗	⸗	74,390	Christian
120,63	96,50	54,797	Arzberger	⸗	⸗	72,37	Taylor
121,00	96,80	55,531	Christian	130,28	104,22	69,30	Watt
121,13	96,90	56,48	Regnault VII.	131,00	104,80	76,334	Christian
121,25	97,00	63,40	Betancourt	131,13	104,89	71,21	Watt
⸗	⸗	59,18	Schmidt	131,25	105,00	86,80	Betancourt
121,04	97,03	62,675	Robison	⸗	⸗	80,95	Schmidt
⸗	⸗	56,295	Southern	⸗	⸗	81,20	Mayer
⸗	⸗	58,08	Ure	131,95	105,56	73,40	Watt
121,39	97,11	54,40	Watt	132,00	105,60	79,782	Christian
122,00	97,60	57,734	Christian	132,43	105,94	88,289	Robison
⸗	⸗	56,143	Taylor	⸗	⸗	80,97	Ure
122,25	97,80	56,00	Héron de Villefosse.	132,50	106,00	89,00	Betancourt
				⸗	⸗	84,99	Schmidt
122,50	98,00	56,30	Watt	132,78	106,22	75,00	Watt
⸗	⸗	66,20	Betancourt	132,82	106,34	80,62	Arago
⸗	⸗	61,75	Schmidt	133,00	106,40	83,105	Christian
123,00	98,40	59,346	Christian	133,30	106,64	80,80	Arago
123,70	98,96	69,35	Arago	133,32	106,66	81,61	Regnault VII.
123,75	99,00	69,00	Betancourt	133,66	106,89	76,87	Watt
⸗	⸗	64,28	Schmidt	133,75	107,00	91,30	Betancourt
123,89	99,11	58,20	Watt	⸗	⸗	88,22	Schmidt
123,91	99,12	61,64	Regnault VII.	134,00	107,20	85,813	Christian
124,00	99,20	61,316	Christian	134,38	107,50	82,151	Arzberger
124,08	99,26	63,10	Ure	135,00	108,00	93,50	Betancourt
125,00	100,00	60,10	Watt	⸗	⸗	92,06	Schmidt
⸗	⸗	71,80	Betancourt	⸗	⸗	88,275	Christian
⸗	⸗	67,00	Schmidt	⸗	⸗	84,214	Dulong
⸗	⸗	63,286	Christian	135,20	108,16	87,75	Ure
126,00	100,80	64,886		135,68	108,54	87,66	Regnault VII.
126,13	100,89	61,93	Watt	136,00	108,80	91,598	Christian
126,25	101,00	75,00	Betancourt	136,25	109,00	95,60	Betancourt
⸗	⸗	69,53	Schmidt	⸗	⸗	96,20	Schmidt
126,85	101,48	75,341	Robison	137,00	109,60	94,029	Christian
126,86	101,49	67,84	Ure	137,50	110,00	98,00	Betancourt
126,88	101,60	67,348	Christian	⸗	⸗	100,72	Schmidt
127,23	101,68	63,81	Watt	137,99	110,39	99,360	Robison
127,50	102,00	78,20	Betancourt	⸗	⸗	95,61	Ure
⸗	⸗	72,46	Schmidt	138,00	110,40	97,507	Christian

Temperatur C.	Temperatur R.	Elasticität in Par. Zollen	Beobachter	Temperatur C.	Temperatur R.	Elasticität in Par. Zollen	Beobachter
+	+			+	+		
138°,30	110°,64	94,02	Arago	155°,79	124°,63	156,0	Ure
„	„	94,64	Regnault VII.	156,00	124,80	137,09	Christian
138,75	111,00	104,35	Schmidt	157,00	125,60	161,15	„
138,88	111,10	84,00	Héron de Villefosse	158,00	126,40	163,95	„
				„	„	154,392	Dulong
139,89	111,11	96,02	Regnault VII.	159,00	127,20	169,89	Christian
139,00	111,20	100,09	Christian	160,00	128,00	175,43	„
140,00	112,00	109,18	Schmidt	„	„	168,42	Taylor
„	„	102,68	Christian	161,00	128,80	170,41	Christian
„	„	97,38	Taylor	161,25	129,00	164,22	Arzberger
140,45	112,36	98,250	Dulong	161,50	129,20	168,428	Dulong
140,88	112,70	105,3	Ure	162,00	129,60	176,59	Christian
140,93	112,74	101,78	Regnault VII.	163,40	130,72	182,90	Arago
141,00	112,80	105,51	Christian	163,50	130,80	182,77	Christian
141,25	113,00	113,10	Schmidt	164,70	131,76	182,464	Dulong
141,46	113,25	103,48	Regnault VII.	165,00	132,00	188,95	Christian
142,00	113,60	108,09	Christian	166,00	132,80	195,13	„
142,50	114,00	117,12	Schmidt	167,50	134,00	201,31	„
143,00	114,40	111,05	Christian	168,00	134,40	207,49	„
143,55	114,84	112,7	Ure	„	„	196,500	Dulong
144,00	115,20	114,13	Christian	168,50	134,80	207,58	Arago
145,00	116,00	117,21	„	169,00	135,20	213,67	Christian
145,20	116,16	112,285	Dulong	169,40	135,52	213,84	Arago
145,44	116,35	120,390	Southern	170,00	136,00	219,83	Christian
145,98	116,78	116,87	Regnault VII.	170,30	136,24	210,535	Dulong
146,00	116,80	120,28	Christian	172,34	137,87	227,82	Arago
146,33	117,06	121,0	Ure	173,00	138,40	224,571	Dulong
147,00	117,60	123,48	Christian	173,36	138,69	225,180	Southern
147,48	117,98	122,18	Regnault VII.	180,70	144,56	277,78	Arago
148,00	118,40	127,05	Christian	183,70	147,04	297,50	„
148,30	118,64	124,17	Regnault VII.	187,10	149,68	322,20	„
149,00	119,20	130,25	Christian	188,50	150,80	327,41	„
149,11	119,29	131,1	Ure	188,75	151,00	398,00	Arzberger
149,70	119,76	128,73	Arago	193,70	154,96	370,33	Arago
150,00	120,00	133,94	Christian	198,50	158,80	408,11	„
„	„	129,73	Taylor	201,75	161,40	439,33	„
„	„	126,321	Dulong	204,17	163,34	455,20	„
151,00	120,80	137,76	Christian	206,10	164,80	481,01	„
151,63	121,30	142,00	Héron de Villefosse	206,80	165,44	483,74	„
				207,40	165,92	486,21	„
151,90	121,52	136,55	Arago	208,90	167,12	506,83	„
„	„	141,3	Ure	209,13	167,30	509,96	„
152,00	121,60	142,56	Christian	210,50	168,40	520,87	„
153,00	122,40	145,03	„	215,30	172,24	574,06	„
153,70	122,96	143,71	Arago	217,50	174,00	598,25	„
154,00	123,20	148,72	Christian	218,40	174,72	606,72	„
„	„	140,337	Dulong	220,80	176,62	636,39	„
154,68	123,74	151,3	Ure	222,50	178,00	574,53	Arzberger
155,00	124,00	153,27	Christian	224,15	179,32	673,68	Arago

Nach den Beobachtungen, wie sie die Erfahrung gegeben hat, sind nun von verschiedenen Mathematikern Formeln entwickelt und darnach Tabellen berechnet worden, welche die Elasticität des Dampfes bei den verschiedenen Temperaturen angeben. Die folgende Tabelle ist von Arzberger berechnet worden nach der Formel $\log. E = 4{,}5237 - \frac{1085{,}7}{160 + t}$ und $t = \frac{1085{,}7}{4{,}5237 - \log. E}$; E bezeichnet die Elasticität des Dampfes und der Atmosphäre; t die Temperatur nach Graden R. Er hat dabei diejenigen sehr genauen Versuche zu Grunde gelegt, die er selbst im Jahre 1818 angestellt hat, und von denen schon oben gesprochen, so wie sie in die vorhergehende Tabelle aufgenommen sind. Es wird von Prechtl *) zu dieser Tabelle bemerkt: Die Versuche, welche zu Grunde gelegt worden, sind unter denselben Umständen vorgenommen worden, unter welchen die Elasticität des Dampfes bei seinen praktischen Anwendungen, zumal in Dampfmaschinen, beobachtet wird. Die sechste Columne der Tafel enthält die Anzahl der Cubikfuß Wasserdampf von der zugehörigen Temperatur, welche aus einem Pfunde W. Wasser von mittlerer Temperatur gebildet werden, wobei das Gewicht eines Wiener Cubikfußes Wasser von dieser Temperatur zu 56,3 Pfund genommen ist. Die siebente Columne enthält die Dichtigkeit des Dampfes gegen Wasser von dieser Temperatur, also die Dichtigkeit des Wassers = 1 genommen. Diese Zahlen entstehen auch, indem man die Anzahl der Cubikfuße der sechsten Columne mit 56,3 multiplicirt, und mit diesem Producte 1 dividirt.

Temperatur		Elasticität			Anzahl der Cubikfuße Dampf aus einem Pfund Wasser = k.	Dichtigkeit des Dampfes gegen jene des Wassers = 1
		ausgedrückt				
		in Quecksilbersäulen nach		in Wien. Pfunden auf den Quadr.-Z.		
nach R.	nach C.	Wien. Z.	Par. Z.			
0°	0°	0,132	0,128	0,058	4785,6	0,0000037
1	1,25	0,146	0,142	0,065	4333,7	0,0000041
2	3,5	0,162	0,157	0,072	3931,5	0,0000045
3	4,75	0,179	0,174	0,079	3571,3	0,0000050
4	5	0,198	0,192	0,087	3248,5	0,0000055
5	6,25	0,218	0,212	0,096	2958,7	0,0000060
6	7,5	0,240	0,234	0,106	2698,2	0,0000066
7	8,75	0,264	0,257	0,117	2463,8	0,0000072
8	10	0,290	0,282	0,128	2252,4	0,0000079
9	11,25	0,319	0,310	0,141	2061,7	0,0000086
10	12,5	0,349	0,340	0,155	1889,3	0,0000094
11	13,75	0,382	0,372	0,169	1733,5	0,000010
12	15	0,418	0,407	0,185	1592,2	0,000011
13	16,25	0,457	0,444	0,202	1464,0	0,000012
14	17,5	0,498	0,485	0,220	1347,6	0,000013
15	18,75	0,543	0,529	0,240	1241,9	0,000014
16	20	0,591	0,575	0,262	1145,7	0,000015
17	21,25	0,643	0,626	0,283	1057,9	0,000017
18	22,5	0,699	0,680	0,309	977,95	0,000018

*) Technologische Encyklopädie Bd. III. S. 496. Temperatur.

Temperatur		Elasticität			Anzahl der Cubikfuße Dampf aus einem Pfund Wasser = k.	Dichtigkeit des Dampfes gegen jene des Wassers = 1
		ausgedrückt				
		in Quecksilbersäulen nach		in Wien. Pfunden auf den Quadr.-Z.		
nach R.	nach C.	Wien. Z.	Par. Z.			
19°	23,75	0,759	0,738	0,336	904,86	0,000020
20	25	0,823	0,801	0,364	838,06	0,000021
21	26,25	0,891	0,867	0,394	776,93	0,000023
22	27,5	0,964	0,939	0,427	720,95	0,000025
23	28,75	1,043	1,015	0,461	669,60	0,000027
24	30	1,127	1,096	0,498	622,46	0,000029
25	31,25	1,216	1,183	0,538	579,17	0,000031
26	32,5	1,311	1,267	0,580	539,35	0,000033
27	33,75	1,414	1,375	0,625	502,69	0,000035
28	35	1,521	1,480	0,673	468,92	0,000038
29	36,25	1,636	1,592	0,724	437,78	0,000041
30	37,5	1,758	1,711	0,778	409,05	0,000043
31	38,75	1,888	1,837	0,835	382,49	0,000046
32	40	2,025	1,971	0,896	357,94	0,000050
33	41,25	2,171	2,113	0,961	335,23	0,000053
34	42,5	2,326	2,264	1,029	314,18	0,000057
35	43,75	2,490	2,423	1,102	294,69	0,000060
36	45	2,664	2,592	1,179	276,60	0,000064
37	46,25	2,847	2,771	1,260	259,81	0,000068
38	47,5	3,041	2,960	1,346	244,21	0,000073
39	48,75	3,246	3,159	1,436	229,71	0,000077
40	50	3,463	3,369	1,532	216,20	0,000082
41	51,25	3,691	3,592	1,633	203,65	0,000087
42	52,5	3,931	3,826	1,740	191,93	0,000093
43	53,75	4,185	4,072	1,852	181,01	0,000098
44	55	4,452	4,332	1,970	170,82	0,000104
45	56,25	4,733	4,606	2,094	161,31	0,000110
46	57,5	5,028	4,893	2,225	152,42	0,000117
47	58,75	5,339	5,195	2,362	144,10	0,000123
48	60	5,665	5,513	2,507	136,32	0,000130
49	61,25	6,008	5,846	2,658	129,04	0,000138
50	62,5	6,368	6,197	2,818	122,21	0,000145
51	63,75	6,745	6,564	2,985	115,82	0,000153
52	65	7,141	6,948	3,160	109,82	0,000162
53	66,25	7,555	7,352	3,343	104,18	0,000170
54	67,5	7,989	7,774	3,535	98,895	0,000180
55	68,75	8,443	8,216	3,736	93,922	0,000189
56	70	8,919	8,679	3,946	89,250	0,000199
57	71,25	9,416	9,162	4,166	84,852	0,000209
58	72,5	9,935	9,668	4,396	80,712	0,000220
59	73,75	10,478	10,196	4,636	76,813	0,000231
60	75	11,045	10,748	4,887	73,140	0,000243
61	76,25	11,637	11,324	5,149	69,673	0,000255
62	77,5	12,254	11,924	5,423	66,405	0,000267
63	78,75	12,897	12,551	5,707	63,320	0,000281
64	80	13,569	13,204	6,004	60,406	0,000294
65	81,25	14,268	13,884	6,313	57,653	0,000308
66	82,5	14,997	14,593	6,636	55,049	0,000323
67	83,75	15,755	15,331	6,971	52,589	0,000338

Temperatur		Elasticität ausgedrückt			Anzahl der Cubikfuße Dampf aus einem Pfund Wasser = k.	Dichtigkeit des Dampfes gegen jene des Wassers = 1
		in Quecksilbersäulen nach		in Wien. Pfunden auf den Quadr.-Z.		
nach R.	nach C.	Wien. Z.	Par. Z.			
68°	85	16,544	16,099	7,320	50,258	0,000353
69	86,25	17,365	16,898	7,684	48,053	0,000370
70	87,5	18,219	17,729	8,062	45,963	0,000386
71	88,75	19,107	18,592	8,454	43,984	0,000404
72	90	20,029	19,490	8,862	42,106	0,000422
73	91,25	20,987	20,422	9,286	40,325	0,000440
74	92,5	21,981	21,389	9,726	38,636	0,000460
75	93,75	23,012	22,393	10,182	37,032	0,000480
76	95	24,083	23,436	10,657	35,508	0,000500
77	96,25	25,194	24,516	11,148	34,059	0,000521
78	97,5	26,345	25,636	11,657	32,685	0,000543
79	98,75	27,538	26,797	12,185	31,376	0,000566
80	100	28,775	28,001	12,732	30,129	0,000589
81	101,25	30,056	29,247	13,299	28,954	0,000614
82	102,5	31,381	30,537	13,885	27,817	0,000639
83	103,75	32,752	31,871	14,492	26,742	0,000664
84	105	34,173	33,254	15,121	25,718	0,000691
85	106,25	35,641	34,682	15,770	24,741	0,000718
86	107,5	37,158	36,159	16,442	23,810	0,000746
87	108,75	38,729	37,687	17,136	22,922	0,000775
88	110	40,351	39,265	17,854	22,073	0,000805
89	111,25	42,025	40,895	18,595	21,264	0,000835
90	112,5	43,735	42,578	19,361	20,491	0,000867
91	113,75	45,542	44,317	20,151	19,752	0,000899
92	115	47,387	46,112	20,967	19,046	0,000933
93	116,25	49,288	47,962	21,809	18,371	0,000967
94	117,5	51,251	49,872	22,677	17,725	0,001002
95	118,75	53,275	51,842	23,573	17,107	0,001038
96	120	55,361	53,873	24,496	16,516	0,001075
97	121,25	57,513	55,965	25,448	15,949	0,001114
98	122,5	59,729	58,122	26,429	15,408	0,001153
99	123,75	62,010	60,342	27,438	14,888	0,001193
100	125	64,361	62,631	28,479	14,390	0,001234
101	126,25	66,783	64,988	29,550	13,912	0,001277
102	127,5	69,277	67,413	30,653	13,455	0,001320
103	128,75	71,840	69,907	31,787	13,016	0,001365
104	130	74,477	72,474	32,955	12,595	0,001410
105	131,25	77,192	75,115	34,155	12,189	0,001457
106	132,5	79,980	77,829	35,389	11,802	0,001505
107	133,75	82,850	80,621	36,659	11,429	0,001554
108	135	85,796	83,490	37,963	11,070	0,001604
109	136,25	88,828	86,440	39,305	10,727	0,001656
110	137,5	91,940	89,466	40,681	10,395	0,001709
111	138,75	95,134	92,576	42,095	10,077	0,001762
112	140	98,420	95,772	43,543	9,771	0,001818
113	141,25	101,79	99,054	45,040	9,477	0,001874
114	142,5	105,25	102,42	46,570	9,194	0,001932
115	143,75	108,80	105,87	48,141	8,921	0,001991
116	145	112,44	109,42	49,754	8,658	0,001052

Temperatur		Elasticität			Anzahl der Cubikfuße Dampf aus einem Pfund Wasser = k.	Dichtigkeit des Dampfes gegen jene des Wassers = 1
		ausgedrückt				
		in Quecksilbersäulen nach		in Wien. Pfunden auf den Quadr.-Z.		
nach R.	nach C.	Wien. Z.	Par. Z.			
117°	146,25	116,18	113,06	51,408	8,405	0,002113
118	147,5	120,01	116,79	53,104	8,161	0,002176
119	148,75	123,95	120,61	54,843	7,926	0,002241
120	150	127,97	124,52	56,623	7,700	0,002307
121	151,25	132,10	128,54	58,450	7,482	0,002374
122	152,5	136,32	132,66	60,321	7,271	0,002443
123	153,75	140,66	136,88	62,239	7,068	0,002513
124	155	145,10	141,19	64,203	6,873	0,002584
125	156,25	149,65	145,62	66,216	6,684	0,002658
126	157,5	154,30	150,15	68,273	6,501	0,002732
127	158,75	159,07	154,79	70,383	6,325	0,002808
128	160	163,94	159,53	72,538	6,155	0,002886
129	161,25	168,94	164,39	74,750	5,990	0,002965
130	162,5	174,04	169,36	77,010	5,832	0,003046
131	163,75	179,27	174,44	79,322	5,678	0,003128
132	165	184,61	179,64	81,684	5,530	0‘003212
133	166,25	190,07	184,96	84,102	5,387	0,003298
134	167,5	195,66	190,40	86,574	5,248	0,003385
135	168,75	201,37	195,95	89,100	5,114	0,003473
136	170	207,20	201,63	91,684	4,984	0,003564
137	171,25	213,17	207,44	94,325	4,858	0,003656
138	172,5	219,26	213,37	97,020	4,737	0,003750
139	173,75	225,49	219,42	99,773	4,619	0,003845
140	175	231,85	225,61	102,59	4,505	0,003942
141	176,25	238,34	231,93	105,46	4,395	0,004041
142	177,5	244,97	238,38	108,39	4,288	0,004142
143	178,75	251,75	244,97	111,39	4,185	0,004245
144	180	258,65	251,70	114,45	4,084	0,004349
145	181,25	265,71	258,56	117,57	3,987	0,004455
146	182,5	272,90	265,56	120,75	3,893	0,004563
147	183,75	280,25	272,71	124,00	3,801	0,004673
148	185	287,74	280,00	127,32	3,712	0,004785
149	186,25	295,38	287,43	130,70	3,626	0,004898
150	187,5	303,17	295,02	134,15	3,543	0,005013
151	188,75	311,11	302,75	137,66	3,462	0,005131
152	190	319,21	310,63	141,25	3,383	0,003250
153	191,25	327,47	318,66	144,90	3,307	0,005371
154	192,5	335,89	326,86	148,63	3,233	0,005494
155	193,75	344,47	335,20	152,42	3,161	0,005619
156	195	353,21	343,71	156,29	3,091	0,005746
157	196,25	362,11	352,37	160,24	3,024	0,005875
158	197,5	371,17	361,19	164,24	2,958	0,006006
159	198,75	380,42	370,19	168,34	2,894	0,006138
160	200	389,84	379,35	172,49	2,831	0,006274
161	201,25	399,41	388,67	176,73	2,771	0,006410
162	202,5	409,17	389,16	181,05	2,712	0,006550
163	203,75	419,10	407,83	185,44	2,655	0,006691
164	205	429,21	417,67	189,92	2,599	0,006834
165	206,25	439,50	427,68	194,47	2,545	0,006979

Temperatur		Elasticität			Anzahl der Cubikfuße Dampf aus einem Pfund Wasser = k.	Dichtigkeit des Dampfes gegen jene des Wassers = 1
		ausgedrückt				
		in Quecksilbersäulen nach		in Wien. Pfunden auf den Quadr.-Z.		
nach R.	nach C.	Wien. Z.	Par. Z.			
166°	207,5	449,97	437,87	199,10	2,492	0,007127
167	208,75	460,62	448,23	203,81	2,441	0,007276
168	210	471,47	458,79	208,61	2,391	0,007428
169	211,25	482,49	469,52	213,49	2,343	0,007582
170	212,5	493,72	480,44	218,46	2,295	0,007738
171	213,75	505,11	491,53	223,51	2,250	0,007896
172	215	516,72	502,83	228,64	2,205	0,008056
173	216,25	528,32	514,30	233,86	2,161	0,008219
174	217,5	540,51	525,98	239,17	2,119	0,008384
175	218,75	552,70	537,84	244,56	2,077	0,008551
176	220	565,10	549,89	250,04	2,037	0,008720
177	221,25	577,69	562,15	255,61	1,998	0,008891
178	222,5	590,50	574,62	261,28	1,959	0,009065
179	223,75	603,50	587,27	267,04	1,922	0,009241
180	225	616,71	600,12	272,88	1,886	0,009420

Die folgende nach der Formel von Biot berechnete Tafel enthält die Bestimmungen der Elasticität des Wasserdampfes von — 20° bis zu 100° C. Die Versuche, auf denen diese Tabelle beruht, sind von Gay-Lussac angestellt worden.

Tabelle über die elastischen Kräfte des Wasserdampfes von — 20° bis 100°.

Temperatur in ° C.	Elastische Kraft in Quecksilber Millim.	Druck in Kilogr. auf 1 Quadr.-Centim.	Temperatur in ° C.	Elastische Kraft in Quecksilber Millim.	Druck in Kilogr. auf 1 Quadr.-Centim.
— 20°	1,mm333	0Kil.,0018	16°	13mm,630	0Kil.,0186
— 15	1,879	0,0026	17	14,468	0,0197
— 10	2,631	0,0036	18	15,353	0,0209
— 5	3,660	0,0050	19	16,288	0,0222
0	5,059	0,0069	20	17,314	0,0235
1	5,393	0,0074	21	18,317	0,0250
2	5,749	0,0078	22	19,447	0,0265
3	6,123	0,0084	23	20,577	0,0281
4	6,523	0,0089	24	21,805	0,0297
5	6,947	0,0094	25	23,090	0,0314
6	7,396	0,0101	26	24,452	0,0334
7	7,871	0,0107	27	25,881	0,0353
8	8,375	0,0114	28	27,390	0,0374
9	8,909	0,0122	29	29,045	0,0396
10	9,475	0,0129	30	30,643	0,0418
11	10,074	0,0137	31	32,410	0,0440
12	10,707	0,0146	32	34,261	0,0465
13	11,378	0,0155	33	36,188	0,0492
14	12,087	0,0165	34	38,254	0,0520
15	12,837	0,0170	35	40,404	0,0549

Temperatur in ° C.	Elastische Kraft in Quecksilber Millim.	Druck in Kilogr. auf 1 Quadr.-Centim.	Temperatur in ° C.	Elastische Kraft in Quecksilber Millim.	Druck in Kilogr. auf 1 Quadr.-Centim.
36°	42mm,743	0Kil.,0581	69°	219mm,060	0Kil.,29761
37	45,038	0,0612	70	229,070	0,31121
38	47,579	0,0646	71	239,450	0,32532
39	50,147	0,0681	72	250,230	0,33996
40	52,998	0,0720	73	261,430	0,35518
41	55,772	0,0758	74	273,030	0,37094
42	58,792	0,0799	75	285,070	0,39632
43	61,958	0,08418	76	297,570	0,40428
44	65,627	0,08916	77	310,490	0,42184
45	68,751	0,09340	78	323,890	0,44004
46	72,393	0,09835	79	337,760	0,45888
47	76,205	0,10353	80	352,080	0,47834
48	80,195	0,10900	81	367,000	0,49860
49	84,370	0,11662	82	382,380	0,51950
50	88,743	0,12056	83	398,280	0,54110
51	93,301	0,12676	84	414,730	0,56345
52	98,075	0,13325	85	431,710	0,58632
53	103,060	0,13999	86	449,260	0,61036
54	108,270	0,14710	87	467,380	0,63498
55	113,710	0,15449	88	486,090	0,66040
56	119,390	0,16220	89	505,380	0,68661
57	125,310	0,17035	90	525,28	0,71364
58	131,500	0,17866	91	545,80	0,74152
59	137,940	0,18736	92	566,95	0,77026
60	144,660	0,19653	93	588,74	0,79986
61	151,700	0,20610	94	611,18	0,83035
62	158,960	0,21586	95	634,27	0,86172
63	166,560	0,22639	96	658,05	0,89402
64	174,470	0,23758	97	682,59	0,92736
65	182,710	0,24823	98	707,63	0,96138
66	191,270	0,25986	99	733,46	0,99448
67	200,180	0,27196	100	760,00	1,03253
68	209,440	0,28456			

Aus den oben (S. 96) erwähnten Versuchen von Arago und Dulong ist die nachfolgende Tabelle hervorgegangen. Von 24 Atmosphären an sind die Versuche in dieser Tafel nach der Formel

$$t = \frac{\sqrt[5]{e - 1}}{0{,}7153}$$

berechnet, wo e die Elasticität in Atmosphären bezeichnet und t die Temperatur von 100° C. an, indem das Intervall von 100° als Einheit angenommen ist.

Temperatur nach C.	Elasticität des Quecksilbers bei 0° in Metern	Elasticität in Atmosphären zu 0,76 Met. Bar.	Druck auf einen Quadratcentimeter in Kilogrammen
100°	0m,76	1	1,033
112,2	1,14	1½	1,549
121,4	1,52	2	2,066
128,8	1,90	2½	2,582
135,1	2,28	3	3,099
140,6	2,66	3½	3,615
145,4	3,04	4	4,132
149,6	3,42	4½	4,648
153,8	3,80	5	5,165
156,8	4,18	5½	5,681
160,2	4,56	6	6,198
163,48	4,94	6½	6,714
166,5	5,32	7	7,231
169,37	5,70	7½	7,747
172,2	6,08	8	8,264
176,1	6,84	9	9,297
187,6	7,60	10	10,330
181,3	8,36	11	11,363
196	9,12	12	12,396
190,7	9,88	13	13,429
193,19	10,64	14	14,462
200,48	11,40	15	15,495
203,6	12,16	16	16,528
206,57	12,92	17	17,561
209,4	13,68	18	18,594
212,2	14,44	19	19,627
214,7	15,20	20	20,660
217,2	15,96	21	21,693
219,6	16,72	22	22,726
221,9	17,48	23	23,759
224,2	18,24	24	24,792
226,3	19,00	25	25,825
336,2	22,80	30	30,990
244,85	26,60	35	36,155
252,55	30,40	40	41,320
259,52	34,20	45	46,485
265,89	38,00	50	51,650

Auf Grund seiner Versuche hat **Magnus** *) die Formel

$$e = 4^{mm},525 \cdot 10^{\frac{7,4475\,t}{234,69 + t}}$$

aufgestellt und darnach die nachstehende Tabelle berechnet. Es bezeichnet e die Spannkraft des Dampfes in Millimetern und t die Temperatur in Graden C.

t	e	t	e	t	e	t	e	t	e
°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm
— 20	0,916	+ 8	7,964	+ 36	44,268	+ 64	178,397	+ 92	566,147
19	0,999	9	8,525	37	46,758	65	186,601	93	587,836
18	1,089	10	9,126	38	49,368	66	195,124	94	610,217
17	1,186	11	9,751	39	52,103	67	203,975	95	633,305
16	1,290	12	10,421	40	54,969	68	213,166	96	657,120
15	1,403	13	11,130	41	57,969	69	222,706	97	681,683
14	1,525	14	11,882	42	61,109	70	232,606	98	707,000
13	1,655	15	12,677	43	64,396	71	242,877	99	733,100
12	1,796	16	13,519	44	67,833	72	253,530	100	760,000
11	1,947	17	14,409	45	71,427	73	264,577	101	787,718
10	2,109	18	15,351	46	75,185	74	276,029	102	816,273
9	2,284	19	16,345	47	79,111	75	287,898	103	845,683
8	2,471	20	17,396	48	83,212	76	300,193	104	875,971
7	2,671	21	18,505	49	87,494	77	312,934	105	907,157
6	2,886	22	19,675	50	91,965	78	326,127	106	939,260
5	3,115	23	20,909	51	96,630	79	339,786	107	972,296
4	3,361	24	22,211	52	101,497	80	353,926	108	1006,300
3	3,624	25	23,582	53	106,572	81	368,558	109	1041,278
2	3,905	26	25,026	54	111,864	82	383,697	110	1077,261
1	4,205	27	26,547	55	117,378	83	399,357	111	1114,268
0	4,525	28	28,148	56	123,124	84	415,525	112	1152,321
+ 1	4,867	29	29,832	57	129,109	85	432,295	113	1191,444
2	5,231	30	31,602	58	135,341	86	449,603	114	1231,660
3	5,619	31	33,464	59	141,829	87	467,489	115	1272,986
4	6,032	32	35,419	60	148,579	88	485,970	116	1315,462
5	6,471	33	37,473	61	155,603	89	505,060	117	1359,094
6	6,939	34	39,630	62	162,908	90	524,775	118	1403,915
7	7,436	35	41,893	63	170,502	91	545,133		

Endlich theile ich noch die Tabelle mit, welche **Regnault** auf Grund seiner oben (S. 103 ff.) angeführten Beobachtungen berechnet hat, nach einer Formel von der Form $\log. f = a + b\,\alpha^x$. Es ist hierin $x = t - 100^0$, indem t die Grade C. über 200^0 bezeichnet. Die drei Constanten a, b, α haben nach den directen Versuchen die Werthe: $a = 5{,}8267890$, $\log b = 0{,}4692291$, $\log \alpha = 1{,}9977641 - 1$. Die Formel entspricht den Beobachtungen ziemlich genau; der größte Unterschied steigt auf $13^{mm},2$; er entspricht in der Schätzung der Temperatur einem Fehler von $0^0,15$.

*) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 247.

Tabelle über die Elasticitäten des Wasserdampfes von — 32° bis 100°.

Temp. in °C.	Elasticität in Quecksilber Millimeter	Unterschied	Druck in Kilogr. auf 1 Quadr.-Cent.	Temp. in °C.	Elasticität in Quecksilber Millimeter	Unterschied	Druck in Kilogr. auf 1 Quadr.-Cent.
— 32°	0mm,310	0mm,026	0Kil.,0004	+ 16°	13mm,536	0mm,885	
31	0,336	0,029		17	14,421	0,936	
30	0,365	0,032	0,0005	18	15,357	0,989	
29	0,397	0,034		19	16,346	1,045	
28	0,431	0,037		20	17,391	1,104	0Kil.,0233
27	0,468	0,041		21	18,495	1,164	
26	0,509	0,044		22	19,659	1,229	
25	0,553	0,049		23	20,888	1,296	
24	0,602	0,052		24	22,184	1,366	
23	0,654	0,057		25	23,550	1,438	
22	0,711	0,063		26	24,988	1,517	
21	0,774	0,067		27	26,505	1,596	
20	0,841	0,075	0,0011	28	28,101	1,681	
19	0,916	0,080		29	29,782	1,766	
18	0,996	0,088		30	31,548	1,858	
17	1,084	0,095		31	33,406	1,953	0,0429
16	1,179	0,105		32	35,359	2,052	
15	1,284	0,114		33	37,411	2,154	
14	1,398	0,123		34	39,565	2,262	
13	1,521	0,135		35	41,827	2,374	
12	1,656	0,147		36	44,201	2,490	
11	1,803	0,160		37	46,691	2,611	
10	1,963	0,174	0,0027	38	49,302	2,737	
9	2,137	0,190		39	52,039	2,867	
8	2,327	0,206		40	54,906	3,004	0,0746
7	2,533	0,225		41	57,910	3,145	
6	2,758	0,246		42	61,055	3,291	
5	3,004	0,267		43	64,346	3,444	
4	3,271	0,282		44	67,790	3,601	
3	3,553	0,326		45	71,391	3,767	
2	3,879	0,345		46	75,158	3,935	
1	4,224	0,376		47	79,093	4,111	
0	4,600	0,340	0,0062	48	83,204	4,295	
+ 1	4,940	0,362		49	87,499	4,483	
2	5,302	0,385		50	91,982	4,679	0,1250
3	5,687	0,410		51	96,661	4,882	
4	6,097	0,437		52	101,543	5,093	
5	6,534	0,464		53	106,636	5,309	
6	6,998	0,494		54	111,945	5,533	
7	7,492	0,525		55	117,478	5,766	
8	8,017	0,557		56	123,244	6,007	
9	8,574	0,591	0,0125	57	129,251	6,254	
10	9,165	0,627		58	135,505	6,510	
11	9,792	0,663		59	142,015	6,776	
12	10,457	0,705		60	148,791	7,048	0,2021
13	11,162	0,746		61	155,839	7,331	
14	11,908	0,791		62	163,170	7,621	
15	12,699	0,837		63	170,791	7,923	
16	13,536			64	178,714		

Temp. in °C.	Elasticität in Quecksilber Millimeter	Unterschied	Druck in Kilogr. auf 1 Quadr.-Cent.	Temp. in °C.	Elasticität in Quecksilber Millimeter	Unterschied	Druck in Kilogr. auf 1 Quadr.-Cent.
+ 64°	178mm,714	8mm,231		+ 82°	384mm,435	15mm,666	
65	186,945	8,551		83	400,101	16,197	
66	195,496	8,880		84	416,298	16,743	
67	204,376	9,220		85	433,041	17,303	
68	213,596	9,569		86	450,344	17,877	
69	223,165	9,928		87	468,221	18,466	
70	233,093	10,300	0Kil.,3167	88	486,687	19,072	
71	243,393	10,680		89	505,759	19,691	
72	254,073	11,074		90	525,450	20,328	0Kil.,7138
73	265,147	11,477		91	545,778	20,979	
74	276,624	11,893		92	566,757	21,649	
75	288,517	12,321		93	588,406	22,334	
76	300,838	12,762		94	610,740	23,038	
77	313,600	13,211		95	633,778	23,757	
78	326,811	13,677		96	657,535	24,494	
79	340,488	14,155		97	682,029	25,251	
80	354,643	14,644	0,4818	98	707,280	26,025	
81	369,287	15,148		99	733,305	26,695	
82	384,435			100	760,000		1,0325

Tabelle über die Elasticität des Wasserdampfes für die Temperaturen über 100°. Von 1 bis 4,4 Atmosphäre.

Temperatur in ° C.		Elasticität		Druck in Kilogr. auf 1 Qu.-Cent.
in der Flüssigkeit	im Dampfe	in Metern Quecksilber	in Atmosphären	
99°,83	99°,82	0m,75161	—	1Kil.,0119
100,00	100,00	0,76000	1,00	1,0325
100,71	100,71	0,77603	1,02	1,0532
105,10	105,06	0,90460	1,19	1,2287
111,78	111,70	1,13147	1,49	1,5385
116,04	116,04	1,30237	1,71	1,7656
121,16	121,13	1,53027	2,01	2,0753
122,70	122,53	1,60125	2,11	2,1786
123,94	123,91	1,67041	2,20	2,2715
128,40	128,47	1,91512	2,52	2,6019
128,54	128,47	1,92520	2,53	2,6122
128,66	128,57	1,93114	2,54	2,6226
130,12	130,18	2,01251	2,65	2,7361
131,38	131,30	2,09469	2,75	2,8497
131,51	131,63	2,09828	2,76	2,8497
133,20	133,28	2,20908	2,91	3,0046
135,70	135,65	2,37303	3,04	3,1388
135,83	136,00	2,38681	3,14	3,2421
137,75	137,52	2,51479	3,31	3,4176
138,36	138,24	2,56173	3,37	3,4795
140,90	141,01	2,75617	3,63	3,7480
141,57	141,54	2,79968	3,68	3,7896
143,85	143,83	2,99279	3,94	4,0581
144,12	144,17	3,01008	3,96	4,0887
145,70	145,64	3,14941	4,14	4,2746
147,50	147,50	3,30695	4,35	4,4914
148,20	148,30	3,36136	4,42	4,5637

Nach einer Formel von Egen (s. d. Folg.), welche auf eine Anzahl der zuverlässigsten Beobachtungen gegründet ist, hat Radicke*) die nachstehende Tabelle berechnet, in welcher unter e die Elasticitäten in Atmosphären, unter t die Temperaturen in Centesimalgraden eingetragen sind. Um immer bequem auch für eine bestimmte Temperatur die entsprechende Elasticität finden zu können, sind die Intervallen so gewählt, daß die Temperaturzunahme nicht anderthalb Grade übersteigt. Multiplicirt man die unter e stehende Zahl mit 1,033, so erhält man den Druck in Kilogrammen auf Ein Quadratcentimer.

e	t	diff.	e	t	diff.	e	t	diff.
1,00	100,000	2,684	6,25	161,509	1,578	16,00	203,011	0,754
1,10	102,684	2,595	6,50	163,087	1,530	16,25	203,765	0,743
1,20	105,179	1,182	6,75	164,617	1,487	16,50	204,508	0,734
1,25	106,361	1,149	7,00	166,104	1,445	16,75	205,242	0,726
1,30	107,510	2,190	7,25	167,594	1,404	17,00	205,968	0,718
1,40	109,700	2,049	7,50	168,953	1,369	17,25	206,686	0,709
1,50	111,749	1,979	7,75	170,322	1,333	17,50	207,395	0,700
1,60	113,728	1,862	8,00	171,655	1,300	17,75	208,095	0,695
1,70	115,590	0,927	8,25	172,935	1,271	18,00	208,790	0,686
1,75	116,517	0,849	8,50	174,226	1,240	18,25	209,476	0,677
1,80	117,366	1,699	8,75	175,466	1,211	18,50	210,153	0,672
1,90	119,065	1,629	9,00	176,677	1,184	18,75	210,825	0,664
2,00	120,694	1,564	9,25	177,864	1,157	19,00	211,489	0,656
2,10	122,258	2,239	9,50	179,021	1,133	19,25	212,145	0,652
2,25	124,497	2,125	9,75	180,154	1,119	19,50	212,797	0,641
2,40	126,622	1,351	10,00	181,273	1,092	19,75	213,438	0,638
2,50	127,973	1,314	10,25	182,365	1,069	20,00	214,076	0,631
2,60	129,287	1,892	10,50	183,434	1,051	20,25	214,707	0,625
2,75	131,179	1,817	10,75	184,485	1,030	20,50	215,332	0,619
2,90	132,996	1,188	11,00	185,515	1,014	20,75	215,951	0,612
3,00	134,184	1,156	11,25	186,529	0,994	21,00	216,563	0,607
3,10	135,340	1,614	11,50	187,523	0,977	21,25	217,170	0,600
3,25	136,954	1,572	11,75	188,500	0,961	21,50	217,770	0,595
3,40	138,516	1,061	12,00	189,461	0,946	21,75	218,365	0,591
3,50	139,577	1,009	12,25	190,407	0,931	22,00	218,956	0,584
3,60	140,586	1,478	12,50	191,338	0,913	22,25	219,540	0,579
3,75	142,054	1,425	12,75	192,251	0,902	22,50	220,119	0,576
3,90	143,479	0,924	13,00	193,153	0,887	22,75	220,695	0,568
4,00	144,403	0,906	13,25	194,040	0,874	23,00	221,263	0,564
4,10	145,309	1,328	13,50	194,914	0,861	23,25	221,827	0,561
4,25	146,637	1,300	13,75	195,775	0,848	23,50	222,388	0,554
4,40	147,937	0,832	14,00	196,623	0,837	23,75	222,942	0,550
4,50	148,769	2,066	14,25	197,460	0,826	24,00	223,492	0,087
4,75	150,835	1,928	14,50	198,286	0,814	24,50	224,579	0,070
5,00	152,763	1,880	14,75	199,100	0,802	25,00	225,649	-0,053
5,25	154,643	1,808	15,00	199,902	0,791	25,50	226,702	0,034
5,50	156,451	1,744	15,25	200,693	0,783	26,00	227,736	0,021
5,75	158,195	1,685	15,50	201,476	0,773	26,50	228,757	0,007
6,00	159,880	1,629	15,75	202,249	0,762	27,00	229,764	0,988
6,25	161,509		16,00	203,011		27,50	230,752	

*) Mitgetheilt in Dove's Repertorium der Physik. Bd. I. S. 47.

e	t	diff.	e	t	diff.	e	t	diff.
27,50	230,752	0,975	33,50	241,633	0,833	39,50	251,052	0,727
28,00	231,727	0,961	34,00	242,466	0,824	40,00	251,779	1,441
28,50	232,688	0,950	34,50	243,290	0,815	41,00	253,220	1,415
29,00	233,638	0,934	35,00	244,105	0,805	42,00	254,635	1,385
29,50	234,572	0,924	35,50	244,910	0,796	43,00	256,020	1,362
30,00	235,496	0,909	36,00	245,706	0,789	44,00	257,382	1,338
30,50	236,405	0,900	36,50	246,495	0,777	45,00	258,720	1,312
31,00	237,305	0,887	37,00	247,272	0,773	46,00	260,032	1,290
31,50	238,192	0,878	37,50	248,045	0,761	47,00	261,322	1,279
32,00	239,070	0,864	38,00	248,806	0,755	48,00	262,591	1,246
32,50	239,934	0,854	38,50	249,561	0,748	49,00	263,837	1,227
33,00	240,788	0,845	39,00	250,309	0,743	50,00	265,064	
33,50	241,633		39,50	251,052				

Wir theilen im Nachstehenden sämmtliche bisher für die Elasticität des Wasserdampfes aufgestellten Formeln mit *).

In den nachstehenden Formeln bedeutet: e die Elasticität in Par. Zollen, $\frac{e}{12}$ die Elasticität in Par. Linien, e, die Elasticität in engl. Zollen, e,, die Elasticität in Metern, $\frac{e_{,,}}{100}$ die Elasticität in Centimetern, $\frac{e_{,,}}{1000}$ die Elasticität in Millimetern, E die Elasticität in Atmosphären, t die Temperatur in Centesimalgraden, t, die Temperatur in Fahrenheit'schen Graden, T die Temperatur in Réaumur'schen Graden, T, die Temperatur in Réaumur'schen Graden des Luftthermometers. Zur Reduction der Maße hat man ferner 1″ engl. = 0″,938258333.... Paris. Maß, 1 Meter = 36″,941333.... Paris. Maß, 1 Atmosphäre = 28″ Paris. Maß, t = 0,8 T, $t_{,} = \frac{4}{9}T + 32$.

1. Prony's erste Formel 1794. (Nouvelle architecture hydraulique. Neue Architektura hydraulika, übersetzt von Langsdorf §. 1325. Bd. I. S. 604. Langsdorf, Lehrbuch der Hydraulik mit beständiger Rücksicht auf die Erfahrung. Altenburg 1794. 4. S. 390; Gren's N. J. S. 174)

$$e = 10^{m + nT} - 10^{m_{,} + n_{,}T} - 10^{sT - r} - 10^{s_{,}T - r_{,}}$$

wo m = 0,068831, s = 0,058576
n = 0,019438, r = 4,686080
m, = 0,068605, s, = 0,049157
n, = 0,013490, r, = 3,932360 ist.

(Ist den mangelhaften Beobachtungen von Betancourt angepaßt, und darum nicht zuverlässig.)

*) Ich folge der Zusammenstellung, welche Karsten im „Fortschritte der Physik im J. 1845. Berlin 1846. S. 91“ gegeben. Aehnliche Zusammenstellungen finden sich in Poggend. Annalen. Bd. XXVII. S. 12, wo Egen die aufgeführten Formeln einer Kritik unterzieht; in Dove's Repertorium der Physik. Bd. I. S. 119; von Scott Russel in Edinb. Phil. Trans. 1838. L'Institut 1839. 7me Ann. N. 299; und Gehler's Phys. Wörterb. N. A. Bd. II. S. 319 und Bd. X. S. 1056; in Kämtz Untersuchungen über die Expansivkraft der Dämpfe. Halle 1826. S. 42.

2. Prony's zweite Formel 1796. (Essay experimental et analytique sur les lois de la dilatabilité des fluides élastiques et cet. Journ. de l'école pol. an IV. Vol. I. cah. 2 p. 24; Langsdorf, neue Archit. hydr. §. 1522. Bd. II. S. 148; Gren's N. J. Bd. IV. S. 215; Kämtz, Untersuchungen über die Expansivkr. ꝛc. S. 42.)

$$e = mr^T + m_, r_,^T + m_{,,} r_{,,}^T$$

wo $m = -0{,}00000072460407$ $r = 1{,}172805$

$m_, = +0{,}8648188303$ $r_, = 1{,}047773$

$m_{,,} = -0{,}8648181057$ $r_{,,} = 1{,}028189$ ist.

(Leidet an demselben Mangel.)

3. G. G. Schmidt, 1798. (Versuche über die Expansivkraft, Dichte und latente Hitze des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen, Leipzig 1798. 8.; Gren's N. J. Bd. IV. S. 254.)

$$e = T^{1{,}4113 + 0{,}005\,T}$$

(Beruht auch auf fehlerhaften Beobachtungen.)

4. Soldner's erste Formel 1804. (Gilbert's Ann. Bd. XVII. S. 44.)

$$\log e_, = \log 30{,}13 - \frac{(280 - T)\ (80 - T)}{10280}.$$

(Beruht auf Dalton's Beobachtungen; wird in den Temperaturen über dem Siedpunkte ungenau.)

5. La Place, 1805. (Mécanique céleste T. IV. p. 273.)

$$\log e_{,,} = \log 0{,}76 + 0{,}0154547\ (t - 100) - 0{,}0000625826\ (t - 100)^2.$$

(Giebt in den hohen Temperaturen starke Abweichungen.)

6. Soldner's zweite Formel 1807. (Gilbert's Ann. Bd. XXV. S. 411.)

$$\log e_{,,} = \log 0{,}76 + 0{,}0193184\ (T - 80) - 0{,}0000977853\ (T - 80)^2$$

oder $\log e_{,,} = \log 0{,}76 + 0{,}1365\ (T - 80) \log [1{,}3802 - 0{,}00253\ (T - 80)]$.

7. Th. Young's erste Formel 1807. (Lectures on natural philos. T. II. p. 400.)

$$e_, = 0{,}1781\ [1 + 0{,}006\ (t_, - 32)]^7,$$

für hohe Temperaturen. (Giebt in der Nähe des Thaupunktes viel zu kleine, hoch über denselben hinaus viel zu große Resultate.)

8. Th. Young's zweite Formel 1807 (an denselben Orten) für niedere Temperaturen:

$$e_, = 0{,}18 + 0{,}007\ (t_, - 32) - 0{,}00019\ (t_, - 32)^2.$$

(Noch unrichtiger.)

9) J. T. Mayer, 1808. (Commentat. soc. reg. sc. Gott. rec. Vol. I. ad an. 1808 — 1811.)

$$\log e = 4{,}286 + \log (213 + T) - \frac{1551{,}09}{213 + T}.$$

(Ist auf theoretischem Wege gefunden; weicht sehr von der Wahrheit ab.)

10. Southern, 1814. (Robison, mechanical philos. T. II. p. 171; de Pambour, théorie de la machine à vapeur, p. 76.)

$$\log (e_, - 0{,}1) = 5{,}14 \log (t_, + 52) - 10{,}97427.$$

11. John Farey, 1814. (A treatise of the steam engine, p. 72; Robison, mech. phil. T. II. p. 173.)

$$\log (e_, - 0{,}1) = 5{,}13 \log (t_, + 51{,}3) - 10{,}94123.$$

(Giebt in sehr niedriger und in hoher Temperatur zu große Resultate.)

12. Creighton, 1814. (Phil. mag. T. LIII. p. 266.)

$$\log (e_, - 0{,}09) = 6\ [\log (t_, + 85) - 2{,}22679].$$

13. Biot, 1816. (Traité de phys. T. I. 273; Phil. Trans. 1818 p. 354; Kämtz, Untersuchungen. S. 44.)

$$\log e_, = \log 30 - 0{,}0153741955\ t - 0{,}00006742735\ t^2 + 0{,}00000003381\ t^3.$$

(Weicht in den höheren Temperaturen sehr von den Beobachtungen ab.)

14. A. Ure, 1818. (Phil. trans. 1818 p. 338; Schweigger's J. Bd. XXVIII. S. 329.

Für Temperaturen unter $t_, = 210$:

$$\log e_, = \log 28{,}9 - \left(\frac{210 - t_,}{10}\right) \log \left\{ \frac{1{,}23 + 1{,}23 - 0{,}01 \left(\frac{201 - t_,}{10} - 1\right)}{2} \right\}.$$

Für Temperaturen über $t_, = 210$:

$$\log e_, = \log 28{,}9 - \left(\frac{t_, - 210}{10}\right) \log \left\{ \frac{1{,}23 + 1{,}23 - 0{,}01 \left(\frac{210 - t_,}{10} - 1\right)}{2} \right\}.$$

15. Paucker, 1819. (Programm über die Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate auf physikalische Beobachtungen. Mitau 1819; Kämtz Untersuchungen. S. 52.)

$$\log e_, = \log 30 - 0{,}019127878274\,(80 - T) - 0{,}0001096547488\,(80 - T)^2 + 0{,}00000010953936\,(80 - T)^3.$$

(Stimmt nur, soweit sie den Beobachtungen angepaßt ist.)

16. Arzberger's erste Formel 1820. (Jahrbücher des polytechnischen Instituts zu Wien. Bd. I. S. 155.)

$$\log e = 2{,}83165 + \log\,(213 + T) - \frac{847{,}3}{140 + T}.$$

17. Arzberger's zweite Formel 1820. (Ebendaselbst.)

$$\log e = 2{,}88174 + \log\,(140 + T) - \frac{830{,}94}{140 + T}.$$

18. Christian, 1823. (Mécanique industrielle T. II. p. 236.)

$$e = 28\,(1{,}032)^{t - 100}$$

(Nur über dem Siedepunkte beiläufig richtig.)

19. Tregaskis. (Edinb. journ. of sc. T. X. p. 69.)

$$\log \frac{e_,}{30} = \frac{\log 2}{\log 1{,}2} \log \left(\frac{t + 32}{180}\right).$$

(Führt in den hohen Temperaturen zu sehr abweichenden Resultaten.)

20. Coriolis. (Du calcul de l'effet des machines, p. 57.)

$$E = \left(\frac{1 + 0{,}01878\,t}{2{,}878}\right)^{5{,}355}$$

(Giebt in der Gegend des Thaupunktes große Abweichungen.)

21. Poisson, 1823. (Ann. chim. ph. T. XXIII. p. 337; Gilb. Ann. Bd. LXXVI. S. 269; Traité de méc. 2ième ed. T. II. p. 637.)

$$e_{,,} = 0{,}76 \left(\frac{266{,}67 + t}{366{,}67}\right)^{14{,}65}$$

(Giebt sehr unrichtige Resultate.)

22. Kämtz's erste Formel 1826. (Untersuchungen rc.; Schweigg. J. N. R. Bd. XII. S. 424.)

$$\log e = 2{,}5263393 - 0{,}01950230219\,(80 - T) - 0{,}00007404868\,(80 - T)^2 + 0{,}0000066252\,(80 - T)^3 + 0{,}00000000399\,(80 - T)^4.$$

(Giebt besonders in den höheren Temperaturen unrichtige Resultate.)

23. Ivory, 1827. (Phil. mag. T. I. p. 4; Tredgold, traité des machines à vapeur trad. p. Mellet, p. 124.)

$$\log e_, = \log 30 + 0{,}0087466\,(t_, - 212) - 0{,}000015178\,(t_, - 212)^2 + 0{,}000000024825\,(t_, - 212)^3.$$

(Ueber dem Siedepunkte fehlerhaft.)

24. August's erste Formel 1828. (Pogg. Ann. Bd. XIII. S. 122.)

$$\log \left(\frac{e}{12}\right) = \frac{23{,}945371\,T_,}{800 + 3\,T_,} - 2{,}2960383$$

$$\text{oder } \log\left(\frac{e}{12}\right) = 0{,}3506511 + \frac{7{,}9817243\ T}{213{,}4878 + T}.$$

(In höheren Temperaturen unrichtig.)

25. Tredgold, 1828. (Traité des machines à vapeur trad. p. Mellet, Bruxelles 1828 p. 101; de Pambour, Théorie etc. p. 77.)

$$e_{,} = \left(\frac{t_{,} + 100}{177}\right)^6 \text{ oder (nach Mellet) } \frac{e_{,,}}{100} = \left(\frac{t + 73}{84}\right)^6.$$

26. Mellet, 1828. (Ebendaselbst.)

$$\frac{e_{,,}}{100} = \left(\frac{t + 75}{85}\right)^6.$$

27. Französische Akademiker, 1830. (Mém. de l'Acad. des Sc. T. X. p. 193. T. XI. p. 897; Ann. chim. ph. T. XXVII. p. 101, u. T. LIII. p. 74; Schweigg. Journ. N. R. Bd. XXXIX. S. 200; Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 437; de Pambour, Théorie etc. p. 77.)

$$E = [1 + 0{,}7153\,(0{,}01\,t - 1)]^5 = (0{,}2847 + 0{,}007153\,t)^5,$$

$$\text{oder } e = (1 + 0{,}7153\,t)^5 \text{ (Dulong).}$$

28. Roche, 1830. (Ann. chim. phys. 1830, Jan.; Pogg. Ann. Bd. XVIII. S. 468; bulletin des sciences math. T. XIII. p. 193.)

$$\log e_{,,} = \log 0{,}76 + \frac{0{,}1644\,(t - 100)}{11 + 0{,}03\,(t - 100)}.$$

(Nach theoretischen Betrachtungen.)

29. Schitko. (Ueber die Kraft der Wasserdämpfe in Baumgartner's und von Ettinghausen's Zeitschr. f. Phys. Bd. VI. S. 256.)

$$\log E = 4 \log x + \log(1 + 0{,}00275038\,x) + 0{,}0017256\,x - 7{,}8404207,$$

$$\text{wo } x = \frac{-1 + \sqrt{1 + 153{,}7850506 \log(1 + 0{,}00018018\,t)}}{0{,}00599839}.$$

(Stimmt wenig mit den Beobachtungen, namentlich nicht in den höheren Temperaturen.)

30. Kämtz's zweite Formel 1831. (Repert. Bd. I. S. 50; Poggend. Ann. Bd. XXVII. S. 25.)

$$\log e = 5{,}6264 + \log(213{,}33 + T) - \frac{1630{,}8944541}{213{,}33 + T}.$$

31. Kämtz's dritte Formel 1831. (Handb. d. Meteorol. Bd. I. S. 292; Repert. Bd. I. S. 50.)

$$\log e = 5{,}642997 + \log(213{,}33 + T) - \frac{1635{,}05}{213{,}33 + T}.$$

32. Egen, 1833. (Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 36; Repert. Bd. I. S. 51.) Formel IV:

$$t = 100 + 64{,}29512 \log e + 13{,}89479 \log^2 e + 2{,}909769 \log^3 e + 0{,}1742634 \log^4 e.$$

(Soll nach Egen mit voller Sicherheit 230 Grade umfassen. Nach dieser Tafel hat Radicke die von uns S. 134 mitgetheilte Tafel berechnet.)

33. Spasky, 1833. (Pogg. Ann. Bd. XXX. S. 333.)

$$E = [1 + 0{,}00719\,(t - 100)]^{4{,}9987}.$$

34. August's zweite Formel 1837. (Fischer's Lehrbuch der mechan. Naturl. 4. Ausg. Bd. I. S. 596.)

$$E = \left\{\frac{6415\,(1028{,}4 + t)}{1000000000}\right\}^{\frac{100 - t}{100 + \frac{3}{8} t}},$$

$$\text{oder } E = \left\{\frac{8019\,(822{,}7 + T)}{1000000000}\right\}^{\frac{80 - T}{80 + \frac{3}{8} T}}.$$

35. v. Wrede, 1840. (Pogg. Ann. Bd. LIII. S. 225.)

$$\log E = 5{,}737 . \frac{t - 100}{374{,}27 + (t - 1000)} \left(\frac{0{,}11\ (t - 100)}{374{,}27 + (t - 100)} \right),$$

$$\text{oder } \log E = \frac{5{,}1059\ (t - 100)\ [420{,}53 + (t - 100)]}{[374{,}27 + (t - 100)]^2}.$$

(Wrede gelangte zu dieser, der Roche'schen analogen Formel durch theoretische Betrachtung. Die Angaben der Formel stimmen ziemlich genau mit den Beobachtungen von Dulong und Arago.)

36. Strehlke, 1843. (Pogg. Ann. Bd. LVIII. S. 335.)

$$\log \left(\frac{e}{12} \right) = 0{,}350636 + \frac{0{,}03868508\ T}{1 + 0{,}00529709\ T}.$$

37. Magnus, 1844. (Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 247.)

$$\frac{e_{,,}}{1000} = 4{,}525 . 10^{\frac{7{,}4175\ t}{234{,}69 + t}}.$$

38. Regnault, 1844. (Ann. chim. ph. T. XI. p. 273; Pogg. Ann. Ergzgsbd. Bd. II. S. 119; C. R. Bd. XX. S. 1574.)

Für Temperaturen unter 0°:

$$\frac{e_{,,}}{1000} = 0{,}0131765 + 0{,}29682 . 1{,}0893^{t + 32}$$

Für Temperaturen zwischen 0° und 100°:

$$\log \frac{e_{,,}}{1000} = 4{,}7384380 + 0{,}013616 . 1{,}0159329^t - 4{,}0878 . 0{,}992487\ t.$$

Für Temperaturen über 100°:

$$\log \frac{e_{,,}}{1000} = 5{,}826789 - 2{,}945976 . 0{,}994865^{t - 100}.$$

39. Holtzmann, 1845. (Ueber die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe, Mannheim 1845. S. 21; Pogg. Ann. Bd. II. Ergzgsbd. S. 183; C. R. Bd. XX. S. 51.)

$$\log \frac{e_{,,}}{1000} = 0{,}656 + \frac{7{,}4808\ t}{236{,}22 + t}$$

$$\text{oder } \frac{e_{,,}}{1000} = 4{,}529 . 10^{\frac{7{,}2801\ t}{230{,}22 + t}}$$

(Theoretische Formeln.)

40. E. Barry, 1845. (C. R. Bd. XX. S. 1574; Pogg. Ann. Bd. II. Ergzgsbd. S. 177; Inst. Nr. 596. p. 191.)

$$\log \frac{e_{,,}}{1000} = \log 760 - \frac{5{,}694866\ (t - 100) + 9{,}00239202\ (t - 100)^2}{366{,}966 - (t - 100)},$$

$$\text{oder } \log \frac{e_{,,}}{1000} = \log 760 - 0{,}01557056\ (t - 100)$$

$$- 0{,}00004505528\ (t - 100)^2 - 0{,}000000207632\ (t - 100)^3.$$

(Die Resultate stimmen ziemlich genau mit denen der Regnault'schen Formel.)

41. Formel von Biot (Compt. rend. p. 1839. Poggend. Annalen Bd. XXXI. S. 42. u. Bd. XLVI. S. 627.)

$$\log f_t = a - a_1\, \alpha_1^{\ 20 + t} - a_2\, \alpha_2^{\ 20 + t}.$$

Es bezeichnet f_t das Maximum der Spannkraft des Dampfes bei der Centesimal-Temperatur t eines Luftthermometers ausgedrückt in Millimetern Quecksilber bei 0°; ferner

$a = 5{,}96131330259$; $\log a_1 = 0{,}82340688193 - 1$; $\log a_2 = 0{,}74110951837$;
$\log \alpha_1 = -\ 0{,}01309734295$; $\log \alpha_2 = -\ 0{,}00212510383$.

Dieser Ausdruck wurde numerisch verglichen mit allen Versuchen von Dulong und Arago, mit denen von Taylor, welche näher an 100° herangehen, und mit einer von

Gay-Lussac mitgetheilten Reihe zahlreicher Beobachtungen von 100° bis — 20° C. (vergl. oben S. 128). In dieser ganzen Ausdehnung stellte die Formel die beobachteten Resultate bis auf sehr kleine Abweichungen mit Genauigkeit dar.

42. Formel des Artizan-Club's für (aus dem von demselben herausgegebenen Werke über Dampfmaschinen) Temperaturen unter 212° F.

$$f = \left(\frac{t + 175}{378}\right)^{7,71307} \text{ und für Temperaturen über } 212^0 \text{ F. } f = \left(\frac{t + 121}{333}\right)^{6,42}$$

f ist die Elasticität des Dampfes ausgedrückt in Atmosphären von 30 Z. engl., t ist die Temperatur in Fahrenheit'schen Graden.

43. Alexander's (Silliman's Journ. Sept. 1848. — Philos. Mag. 1849. Vol. XXXIV. p 1. u. 98. — Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 612.) Formel für die Spannkraft des Wasserdampfes für den Fall, daß sie in englischen Zollen Quecksilber (p) oder in Atmosphären bei 32° (p') ausgedrückt ist, und die Temperatur mit dem Fahrenheit'schen Thermometer gemessen wird:

$$t^0 = 180 \sqrt[6]{p} - 105^0,13.$$

$$\text{oder } t^0 = 317,13 \sqrt[6]{p'} - 103^0,13.$$

Die Abweichungen von den beobachteten Resultaten, besonders den Regnault'schen, sind indeß nicht unbedeutend; besser stimmt die Formel mit den Versuchen des Franklin Institute und denen Dulong's.

Bataille *) stellt die üblichsten Formeln in derjenigen Form zusammen, welche die in der Praxis (bei Dampfmaschinen) nützlichste ist, nämlich unter Beziehung auf franz. Maß und Gewicht. Die Spannung oder der Druck p des Dampfes wird also ausgedrückt in Kilogrammes auf das Quadratcentimeter und die Temperatur t in Graden C.

Formel von Southern, welche den Drucken unter Einer Atmosphäre entspricht:

$$p = 0,0034542 + \left(\frac{46,278 + t}{145,360}\right)^{5,13}$$

$$\text{oder } t = 145,360 \sqrt[5,13]{(p - 0,0034542)} - 46,278.$$

Formel des Artizan-Club's, welche den Drucken unter Einer Atmosphäre entspricht:

$$p = \left(\frac{115 + t}{213,72}\right)^{7,71307} \quad \text{oder } t = 213,72 \sqrt[7,71307]{p} - 115.$$

Formel von Tredgold, verbessert von Mellet, welche den Drucken von 1 bis 4 Atmosphären entspricht:

$$p = \left(\frac{75 + t}{174}\right)^{6} \text{ oder } t = 174 \sqrt[6]{p} - 75.$$

Formel von Pambour, welche den Drucken von 1 bis 4 Atmosphären entspricht:

$$p = \left(\frac{72,67 + t}{171,72}\right)^{6} \text{ oder } t = 171,72 \sqrt[6]{p} - 72,67.$$

Formel des Artizan-Club's, welche den Drucken von 1 bis 24 Atmosphären entspricht:

$$p = \left(\frac{85 + t}{183,68}\right)^{6,42} \quad \text{oder } t = 183,68 \sqrt[6,42]{p} - 85.$$

Formel von Dulong und Arago, welche den Drucken von 4 bis 50 Atmosphären entspricht:

$$p = (0,28658 + 0,0072003\, t)^5 \text{ oder } t = 138,883 \sqrt[5]{p} - 39,802.$$

Die vorhergehenden Bestimmungen beziehen sich sämmtlich auf reines Wasser. Enthält dagegen das Wasser Salze aufgelöst, wie das Meerwasser, so ist ein größerer Hitzegrad nöthig, um das Sieden desselben zu bewirken. (S. oben S. 23, 27, 29.) Die Siedetemperatur liegt um so höher, je größer der Salzgehalt des

*) Bataille traité des Mach. a. v. p. 91.

Wassers ist. Die Elasticität des Dampfes ist indeß nicht größer. Wenn ein salzhaltendes Wasser bei 82° R. siedet, so ist die Elasticität des Dampfes, der erzeugt wird, gleich der Elasticität des reinen Wassers, welches bei 80° R. siedet; und die Dämpfe, welche aus dieser Flüssigkeit bei 80° sich entwickeln, haben nur die Elasticität derjenigen Dämpfe, die aus reinem Wasser bei 78° R. gebildet werden *).

Was die Dämpfe anderer Flüssigkeiten, als des Wassers betrifft, so hat Dalton **) das allgemeine Gesetz aufgestellt: daß für gleiche Temperaturen über oder unter dem Siedepunkte den Dämpfen aller Flüssigkeiten gleiche Elasticitäten zugehören. Hiernach würde z. B. die Elasticität des Dampfes von Weingeist, welcher bei 64° R. unter 28″ Z. B. Luftdruck siedet, bei einer Temperatur von 70° gleich der des Wasserdampfes von 86° R. sein; und bei 60° würde der Weingeistdampf gleiche Elasticität mit Wasserdampf bei 76° R. haben. Dieses Gesetz ist jedoch durch Untersuchungen von Parrot ***), Mayer ****), Ure *****), Despretz †), Babo ††), Avogadro †††), Marx ††††) widerlegt worden; und bis jetzt ist überhaupt noch kein allgemeines Gesetz in Betreff der Elasticitäten der verschiedenen Flüssigkeiten entdeckt.

Die meisten Versuche sind nach dem Wasser über Weingeist angestellt worden. Die Resultate dieser Versuche sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Hierbei ist zu bemerken, daß das specif. Gewicht des von Ure †††††) angewandten Weingeistes 0,813 und der Siedepunkt 173° F. (62°, 66 R.); die Eigenschaften des Alkohols, dessen sich Watt *†) bediente, sind nicht angegeben; der Weingeist Robison's **†) siedete bei 173 F., und ebenso der von Betancourt ***†) angewandte; Muncke ****†) bediente sich absoluten Alkohols von 0,792 specif. Gewicht bei 16° R. Temperatur. Vergleicht man die Resultate, welche von den verschiedenen Physikern bei denselben Temperaturen gefunden worden, so zeigt sich zwischen denen von Ure und Schmidt die größte Uebereinstimmung, die Resultate von Muncke stimmen gleichfalls bis auf das von 20° (welches, wie Muncke selbst äußert, offenbar falsch ist), genau mit denen von Ure überein; Robison's Resultate stimmen bis 65°,78 mit denen von Ure.

---

*) Babo (über die Spannkraft des Wasserdampfes in Salzlösungen. Freiburg i. Br. 1847) hat die Verhältnisse zwischen den verschiedenen Salzmengen zu bestimmen gesucht, welche nöthig sind, um die Spannkraft des Wasserdampfes um ein Gleiches zu erniedrigen.

**) Mem. of the liter. and philos. Soc. of Manchester. V. p. 550.

***) Gilb. Ann. Bd. XVII. S. 82.

****) Comm. de lege vis elast. vaporum in Comm. Soc. Gott.

*****) Philos. trans. 1818. p. 366.

†) Ann. C. P. T. XVI. 105.

††) Uebers. d. Spannkr. des Wasserdampfes S. 1809.

†††) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 76.

††††) Schweigg. Journ. Bd. LXII. S. 486.

†††††) Philos. Transact. 1818. p. 359.

*†) Robison Mech. Phil. T. II. p. 33.

**†) Robison, Mech. Phil. T. II. p. 35.

***†) Gren N. J. Bd. IV. S. 215.

****†) Gehler's phys. Wört. N. A. Bd. II. S. 357.

Elasticität in Pariser Zollen in Quecksilberhöhen nach

Temp. R.	Bestancourt	Ure	Watt und Muncke	Schmidt und Robinson	Temp. R.	Bestancourt	Ure	Watt	Schmidt und Robinson
—5°			0,22 M.*)	0,13 S.*)	32,44		4,95		
0,00		0,38	0,34 M.	0,35 S.**)	33	4,30			
0,89			0,20 W.		34	4,60			
3	0,05				34,22		5,75	5,25	
3,56		0,53	0,87 W.	0,09 R.	35	4,95			5,744 S.
4	0,09				36	5,28			
5	0,12		0,49 M.	0,49 S.	36,44			6,10	
5,78		0,66			36,89		6,75		
6	0,18				37	5,55			
7	0,25				38	6,00			
8	0,32	0,75			39	6,45			
9	0,38				39,11		7,60	6,52	6,44 R.
10	0,45		0,80 M.	0,80 S.	40	6,90			7,805 S.
10,22		0,95			41	7,35			
11	0,50				41,11			7,92	
12	0,62				41,33		8,70		
12,44		1,18		0,75 R.	42	7,82			
13	0,72				42,67			8,83	
14	0,82				43	8,37			
14,67		1,40			43,56		10,00		
15	0,93		1,22 M.	1,490 S.	44	8,92			
15,56			1,77 W.		44,44			9,65	
16,89		1,65			45	9,48			10,42 S.
16	1,02				45,78		11,50	10,42	
19,11		1,95			46	10,15			
17	1,12				47	10,80			
18	1,25				47,56			11,30	
19	1,38				48	11,50	13,00		11,40 R.
20	1,52		1,43 M.	2,105 S.	49	12,20			
21	1,65				49,62			12,10	
21,33		2,30		1,75 R.	49,78			13,10	
22	1,80				50	12,35			13,85 S.
23	1,95				50,22		15,00		
23,11			2,62 W.		50,89			14,01	
23,56		2,78			51	13,75			
24	2,10				51,78			14,87	
25	2,32			3,036 S.	52	14,60			
25,78		3,20			52,89			15,00	
26	2,52				52,44		17,00		
27	2,75				53	15,50			
28	2,95	3,65	3,46 W.		53,55			16,62	
29	3,20				54	16,40			
30	3,40			4,158 S.	54,67		19,00	17,74	
30,22		4,25		3,54 R.	55	17,65			18,04 S.
31	3,70				55,56			18,35	
31,56			4,42 W.		56	18,85			
32	4,00				56,89		21,20	19,40	20,51 R.

*) M. bezeichnet Muncke, W. Watt, S. Schmidt, R. Robison.
**) Nach Robison 0,00.

Elasticität in Pariser Zollen nach der Quecksilberhöhe

Temp. R.	Betancourt	Ure	Watt	Schmidt und Robison	Temp. R.	Betancourt	Ure	Watt	Schmidt und Robison
57	20,00				72	43,50			
58	21,20		20,60		72,93		46,75		
58,67			21,00		73	46,00			
59	22,30				74	48,10			
59'11		24,00			74,67		49,61		51,62 R.
59,56			21,70		75	50,20			
60	23,70		21,82	23,42 S.	76	52,60			
60,44			23,75		76,88		56,30		
60,89			24,60		77	55,30			
61	24,80				78	57,90			
61,33		26,50			79	61,00			
61,78			25,50		79,11		61,00		
62	26,10				80	63,80			
62,67		28,15			80,89		65,02		
63	27,40				81	66,90			
64	28,90				81,78		68,00		
64,90		30,85			82	69,80			
65	30,60			30,03 S.	83	73,40			
65,78		31,85		31,84 R.	83,56		73,61		73,65 R.
66	32,00				84	76,90			
66,78		33,75			85	79,60			
67	33,50				85,71		82,00		
68	35,10				86	83,60			
68,12		36,40			87	87,10			
69	37,20				88	90,80	87,36		
70	39,40			38,25 S.	88,89		91,00		
70,22		40,20			89	95,00			
71	41,30				90	98,00			
71,68		43,14							

Bestimmungen bei hohen Temperaturen sind nur noch von **Robison** bei 92,°45: 107,88 und folgende von **Ure**:

Temp. R.	Elast.	Temp. R.	Elast.	Temp. R.	Elast.	Temp. R.	Elast.
90,67	96,50	95,56	114,3	97,78	128,6	102,22	151,4
91,56	100,0	96,00	118,0	98,70	134,7	103,11	155,8
92,44	104,2	96,50	122,3	100,57	142,2		
94,22	110,7	99,89	123,2	101,33	145,2		

Durch Berechnung nach der durch die Beobachtungen bestimmten Formel von **Mayer** $\log. e = 5{,}029065 + \log. (213 + t) - \frac{1666{,}7}{213 + t}$, worin e die Elasticität in Pariser Zollen, t die Temperatur in Graden nach Reaumur bezeichnen, hat **Muncke** *) die in folgender Tafel unter e zusammengestellten Werthe gefunden. Unter é stehen die von **Ure** beobachteten Elasticitäten; a giebt die Zahl der Atmosphären an, denen dieser Druck gleichkommt.

*) **Gehler's** phys. Wörterb. N. A. Bd. II. S. 360. Vergl. Bd. X. S. 1089.

t	e	é	a	t	e	é	a
— 30	0,0153	—	—	40	6,9960	7,62	0,250
— 25	0,0274	—	—	41	7,4445	8,00	0,266
— 20	0,0477	—	—	42	7,9483	8,48	0,284
— 15	0,0808	—	—	43	8,4431	9,00	0,302
— 10	0,1336	—	—	44	8,9850	10,25	0,321
— 5	0,2157	0,13	—	45	9,5578	10,83	0,341
0	0,3406	0,35	—	46	10,162	11,20	0,362
+ 1	0,3723	0,39	—	47	10,799	11,88	0,385
2	0,4066	0,43	—	48	11,472	13,00	0,409
3	0,4437	0,48	—	49	12,180	13,78	0,435
4	0,4837	0,56	—	50	12,937	14,21	0,462
5	0,5270	0,62	—	51	13,714	15,30	0,489
6	0,5738	0,68	—	52	14,542	16,56	0,519
7	0,6241	0,71	—	53	15,414	17,41	0,550
8	0,6785	0,75	—	54	16,331	18,50	0,583
9	0,7370	0,83	—	55	17,295	19,85	0,617
10	0,8000	0,92	—	56	18,308	20,00	0,653
11	0,8678	0,97	—	57	19,374	21,11	0,691
12	0,9406	1,02	0,034	58	20,493	22,30	0,731
13	1,0190	1,20	0,036	59	21,668	23,60	0,773
14	1,1027	1,37	0,039	60	22,989	24,70	0,821
15	1,1929	1,43	0,043	61	24,195	25,87	0,864
16	1,2895	1,50	0,046	62	25,552	27,80	0,912
17	1,3931	1,68	0,049	63	26,975	28,75	0,963
18	1,5040	1,75	0,054	64	28,467	29,80	0,016
19	1,6224	1,88	0,058	65	30,030	30,90	0,072
20	1,7495	1,96	0,062	66	31,666	32,00	0,130
21	1,8895	2,00	0,067	67	33,380	33,85	0,192
22	2,0301	2,35	0,072	68	35,174	35,90	0,256
23	2,1848	2,50	0,078	69	37,051	37,75	0,323
24	2,3499	2,86	0,084	70	39,014	39,80	1,393
25	2,5260	2,98	0,090	71	41,161	41,25	1,470
26	2,7136	3,20	0,097	72	43,220	43,54	1,543
27	2,9135	3,41	0,104	73	45,455	46,50	1,623
28	3,1265	3,65	0,112	74	47,797	48,25	1,707
29	3,3529	3,80	0,120	75	50,244	51,00	1,794
30	3,5938	4,00	0,128	80	64,768	63,25	2,313
31	3,8499	4,13	0,138	85	81,304	78,61	2,903
32	4,1221	4,25	0,147	90	102,24	94,50	3,650
33	4,4110	4,62	0,158	95	128,65	112,3	4,550
34	4,7068	5,25	0,168	100	158,30	138,7	5,650
35	5,0431	5,72	0,180	120	351,73	—	12,56
36	5,3881	6,25	0,192	140	716,35	—	25,58
37	5,7505	6,58	0,205	160	1355,9	—	48,40
38	6,1410	6,75	0,219	180	2411,7	—	86,10
39	6,5514	7,20	0,234	200	4066,9	—	142,2

Von besonderer Wichtigkeit scheint die Kenntniß der Elasticität des Quecksilberdampfes. Das Quecksilber verdampft nach Faraday bis in die Nähe des Gefrierpunktes des Wassers, und es ist also nothwendig, daß die Elasticität dieser Dämpfe von Einfluß auf den Stand aller Barometer und Thermometer sei; so wie auch alle im Vorigen erwähnten Versuche, wo über Quecksilber die Dämpfe entwickelt und ihr Druck auf das Quecksilber beobachtet wurde, durch die Dämpfe des Quecksilbers unzuberechende Störungen erlitten haben werden. Dennoch giebt es bis jetzt nur eine Reihe von Beobachtungen, die von Avogadro*) angestellt worden sind. Nach Dulong und Petit siedet das Quecksilber unter dem Drucke der Atmosphäre bei 360° C. des Quecksilberthermometers, oder bei 350° C. des für die Ausdehnung des Glases berichtigten Luftthermometers; d. h. die Elasticität des Quecksilberdampfes ist bei dieser Temperatur gleich dem Drucke der Atmosphäre, oder dem Drucke, den eine etwa 0m,76 hohe Quecksilbersäule ausübt. Avogadro hat seine Versuche unterhalb dieser Siedehitze des Quecksilbers angestellt. Sein Apparat bestand in einem umgekehrten Heber von Glas, dessen kürzerer Schenkel sich in einer Kugel endigte, und dessen längerer am andern Ende offen war. Der gekrümmte Theil unterhalb der Kugel, so wie zwei Drittel der Kugel selbst waren mit Quecksilber gefüllt, das sich in dem offenen Schenkel fast bis zu demselben Niveau erhob, so daß die in dem oberen Theile der Kugel eingeschlossene Luft fast unter dem Drucke der Atmosphäre stand. Diese Luft füllte, wenn sie durch die Temperaturerhöhung und die Dampfbildung auf ihr größtes Volumen gebracht war, noch nicht ganz die Kugel, drückte also das Quecksilber nie so weit nieder, daß es in die Röhre stieg. Dadurch blieb diese Luft immer in Berührung mit einer Quecksilberfläche, welche dem horizontalen Querschnitte der Kugel an dem Orte, wo das Quecksilber stehen blieb, gleich war, und dieser Querschnitt hatte immer ein ziemlich beträchtliches Verhältniß zu den Dimensionen des Raumes, welchen die Luft einnahm. Dies war nöthig, damit der Quecksilberdampf, während einer langsamen und allmäligen Erwärmung, sich leicht in dem ganzen Raume mit der Luft vermischen und auf das einer jeden Temperatur zugehörige Maximum der Spannkraft gelangen konnte. Dieser Heber war an einer in Millimeter getheilte Messingscale befestigt, und die Theilung befand sich hinter dem längeren offenen Schenkel, damit man das Steigen des Quecksilbers in diesem messen konnte, und dadurch auch die Vergrößerung, welche das Volumen der in der Kugel enthaltenen Luft, in Folge der Erwärmung und der Dampfbildung, erlitt, sobald die Größe bekannt war, welche das ursprüngliche Volumen der Luft in der Röhre eingenommen haben würde. Zu dieser Kenntniß suchte Avogadro durch einen vorläufigen Versuch zu gelangen. Die Luft in der Kugel über dem Quecksilber war vollkommen ausgetrocknet, so wie die Kugel und die Röhre selbst, um keine Störung durch Wasserdämpfe zu haben. Die offene Röhre wurde eine hinlängliche Zeit über ätzendem Kalk in einer Glocke stehen gelassen, dann das Quecksilber heiß hineingebracht, ohne daß die Luft in der Röhre mit der äußeren Luft in Berührung kommen konnte. Der Apparat wurde nun bis über die Kugel in ein Gefäß mit Olivenöl getaucht, neben ihm ein Thermometer, dessen Scale bis 300 Grad ging, eingesenkt, und dann das Ganze bis zu dieser Temperatur erhitzt, unter Beobach-

*) Mém. de l'acad. de Juin T. XXXVI. Ann. de Ch. et Ph. T. XLIX. p. 369. Poggend. Ann. Bd. XXVII. S. 60.

tung der Höhe der Quecksilbersäule an der Messingscale für jeden entsprechenden Grad des Thermometers. Als die Temperatur auf 300° gelangt war, ließ man das Gefäß mit Olivenöl und den ganzen Apparat erkalten, und zeichnete die Höhen der Quecksilbersäule, die bei diesem abnehmenden Gange der Temperatur den Angaben des Thermometers entsprachen, auf. Die Fehler, welche aus einem Unterschiede zwischen den Angaben des Thermometers und der wahren Temperatur der Luft und des Dampfes in dem Apparate entspringen konnten, mußten nothwendig bei dem entgegengesetzten Gange der Temperatur in beiden Fällen größtentheils verschwinden, da man aus jedem Paare entsprechender Resultate das Mittel nahm.

Um die Beobachtungen dem Zwecke gemäß zu benutzen, mußte man von dem beobachteten Volumen zunächst diejenigen abziehen, welche die Luft für sich bei der jedesmaligen Temperatur und dem jedesmaligen Drucke gezeigt haben würde. Auch mußte man an der Quecksilbersäule eine Berichtigung wegen ihrer Verlängerung durch die Wärme anbringen, und eine andere Berichtigung war nöthig für den fortwährend steigenden Druck, welchen die Luft und der Dampf in der Kugel erlitten, so wie das Quecksilber im längeren Schenkel stieg. Avogadro findet hiernach beim Quecksilberdampfe für die zwischen 230° und 290° C. liegenden Temperaturen von 10 zu 10 Grad folgende Spannkräfte, ausgedrückt in Millimetern und auf 0° reducirt:

Temperatur:	230°;	240°;	250°;	260°;	270°;	280°;	290°.
Elasticität:	58,01;	80,02;	105,88;	133,62;	165,22;	207,59;	252,51.

Avogadro bestimmt hiernach die Formel:

$$\log. e = -0{,}64637\,t + 0{,}075956\,t^2 - 0{,}18452\,t^3,$$

wo t die Temperatur von 100° C., e die Elasticität bezeichnet; und berechnet nach ihr folgende Tafel:

Temperaturen C.	Spannkraft des Quecksilberdampfes in Atmosph. von 0m,76	Spannkraft des Quecksilberdampfes in Millim. Queckf.	Temperaturen C.	Spannkraft des Quecksilberdampfes in Atmosph. von 0m,26	Spannkraft des Quecksilberdampfes in Millim. Queckf.
100°	0,00004	0,03	230°	0,07633	58,01
110	0,00009	0,07	240	0,10349	78,65
120	0,00022	0,16	250	0,13655	103,78
130	0,00047	0,35	260	0,17582	133,62
140	0,00096	0,73	270	0,22145	168,30
150	0,00188	1,43	280	0,27355	207,90
160	0,00343	2,61	290	0,33225	252,51
170	0,00603	4,58	300	0,39780	302,33
180	0,01015	7,71	310	0,47073	357,75
190	0,01638	12,45	320	0,55181	419,38
200	0,02539	19,30	330	0,64261	488,38
210	0,03790	28,80	340	0,74523	566,37
220	0,05466	41,54	350	0,86286	655,77
			360	1,00000	760,00

Ueber Schwefelätherdampf haben Dalton*), Mayer**) u. A.***) Versuche angestellt, deren Resultate sehr von einander abweichen. Auch Ure†) hat eine Reihe von Beobachtungen angestellt; er bediente sich indeß unreinen Schwefeläthers. Wichtiger sind die von Muncke und von Schmidt angestellten Versuche. Muncke††) brachte eine geringe Quantität reinen Schwefeläthers (von 0,711 spec. Gew., der bei 10° R. Wärme und 28 Z. Barometerhöhe, seinen Siedepunkt bei 36°,6 C. hatte) in die torricellische Leere eines gut ausgekochten Barometers, und bestimmte bei vorsichtiger Erwärmung die Digression (Herabdrückung) der Quecksilbersäule durch die erzeugten Dämpfe nach einem anderen Barometer. Zu Beobachtungen über die Elasticität des Schwefelätherdampfes bei höheren Temperaturen bediente er sich eines Apparates, den er, so wie das von ihm angewandte Verfahren mit folgenden Worten beschreibt. „An eine 1,25 Lin. weite, unten umgebogene Barometerröhre wurde ein starkes Gefäß, wie an ein Flaschenbarometer, angeblasen, dann so viel Quecksilber eingegossen, bis das Gefäß etwas über die Hälfte erfüllt war. Die andere Hälfte des Gefäßes goß ich voll Schwefeläther, ließ diesen zur Entfernung der etwa eingeschlossenen Luft gegen eine Minute sieden und verschloß dann die Oeffnung mit einem geeigneten Korke, schnitt dessen außen hervorstehendes Ende ab, verklebte die so verstopfte Mündung mit einem Kitt aus Bleiweiß und Leinölfirniß und einer übergebundenen Thierblase, sicherte alles durch umwickelten Bindfaden, und überzog das Ganze mit Bernsteinfirniß. Diesen Apparat befestigte ich auf eine Scale, welche ich für die Veränderung des Niveau's des Quecksilbers im Gefäße eingerichtet hatte, senkte das untere Ende sammt dem Gefäße in einen Becher mit Wasser, und erwärmte dieses durch eine untergesetzte Lampe, und indem von zwei Beobachtern der eine das dicht neben dem Gefäße mit Aether gleichfalls im Wasser befindliche Thermometer beobachtete, las ein anderer die Höhe der Quecksilbersäule ab. Der längere Schenkel des Barometers war oben abgeschliffen, um auf denselben eine Röhre, und auf dieses abermals eine von gleicher Dicke und Weite vermittelst etwas Kitt und umgewundener Thierblase aufzusetzen, so daß also die Quecksilberhöhe genau gefunden werden konnte, wozu die jedesmalige Barometerhöhe hinzu addirt werden mußte. Obgleich es mühsam und zuletzt peinlich war, die Beobachtungen des Thermometers und der Quecksilbersäule anderthalb Stunden lang ohne Unterbrechung fortzusetzen, so wurde dennoch diese Zeit darauf verwandt, indem die den

*) Mem. of the liter. and philos. soc. of Manchester Vol. V. P. 2. p. 550. Gilbert's Annalen Bd. XVII. S. 1.

**) De vi elast. vap. p. 17.

***) Nach Van Marum (Gilb. Bd. I. S. 153) ist die Elasticität des Schwefelätherdampfes bei 10° R. = 12,5 P. Z.; nach Gay-Lussac (Ebend. Bd. XXIX. S. 115) bei 12° = 11,562 P. Z.; nach Biot (Ebend. Bd. XXV. S. 431) bei 14°,5 = 13,11 P. Z.; nach Dalton (Ebend. Bd. XV. S. 23) bei 17° = 14 P. Z.; nach Saussure (Ebend. Bd. XXIX. S. 125) bei 18° = 16,75 P. Z.; nach Despretz bei 9°,12 = 3,154 P. Z. und nach demselben (Ann. d. Chem. et Phys. T. XXI. p. 149) bei 9°,65 = 4,891 P. Z. Mayer (a. a. O.) fand die Elasticität des Schwefelätherdampfes bei 13°,3 = 12,03 P. Z., während sie Dalton bei dieser Temperatur nur = 11,90 P. Z. fand. Noch weit größere Abweichungen ergeben aber die Beobachtungen beider Physiker in höheren Temperaturen. So fand bei 80° R. Mayer die Elasticität = 193,3, während sie Dalton nur 128,2 P. Z. fand.

†) Phil. Trans. 1818. p. 359.

††) Gehler's Phys. Wörterb, Bd. II. S. 364.

einzelnen Graden des Thermometers zugehörigen Quecksilberhöhen zuerst bei zunehmender und dann bei abnehmender Temperatur aufgezeichnet, und aus beiden das arithmetische Mittel genommen wurde. Das zur Erwärmung des Apparats dienende Wasser im Gefäße zeigte sich der starken Verdunstung wegen minder brauchbar, und ich vertauschte es daher bei einem zweiten Versuche mit Olivenöl."

Nach den übereinstimmendsten Beobachtungen von Muncke und Schmidt hat der erstere die Coefficienten der Mayer'schen Formel bestimmt, nach welcher er die Elasticitäten des Schwefelätherdampfes für die verschiedenen Temperaturen berechnet hat. Sie ist:

$$\log. e = 3{,}7818278 + \log.(213 + t) - \frac{1144{,}2}{213 + t}.$$

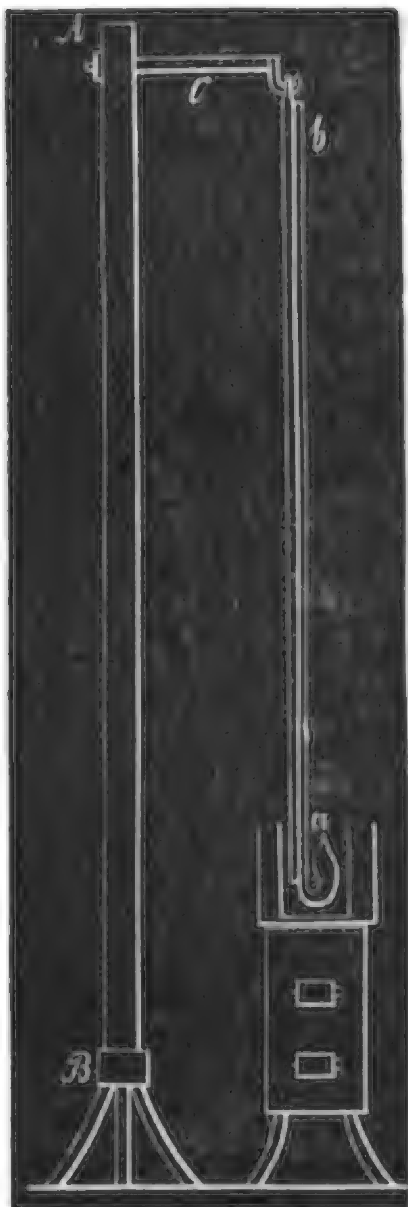
Die nach dieser Rechnung gefundenen Zahlen stehen in folgender Tabelle von Muncke unter e, die im Mittel aus Muncke's Beobachtungen gefundenen unter é, und die durch Schmidt gefundenen unter é'.

t	e	é	é'	t	e	é	é'
—30	0,619	—	—	+19	16,41	—	15,4
25	0,932	—	—	20	17,31	—	16,3
20	0,376	—	—	21	18,24	—	17,1
15	1,992	—	—	22	19,22	20,4	17,8
10	2,836	—	—	23	20,24	21,0	18,7
5	3,970	—	—	24	21,31	21,8	19,5
4	4,238	—	—	25	22,42	22,2	20,4
3	4,522	—	—	26	23,58	22,9	21,4
2	4,822	—	—	27	24,79	23,8	22,4
1	5,138	—	—	28	26,06	24,2	23,4
0	5,473	—	—	29	27,38	25,9	24,5
+ 1	5,826	—	—	30	28.75	26,9	25,7
2	6,198	—	—	31	30,18	31,8	26,7
3	6,590	8,00	—	32	31,67	33,2	—
4	7,002	8,40	—	33	33,22	35,1	—
5	7,439	8,70	—	34	34,83	37,2	—
6	7,897	9.37	—	35	36,51	38,4	—
7	8.373	9,81	—	36	38.26	39,8	—
8	8.861	10,2	8,98	37	40,07	41,8	—
9	9.418	10,9	9,50	38	41,96	42,5	—
10	9,978	11,5	9,78	39	43,92	44,6	—
11	10,56	12,0	10.4	40	45,95	46,2	—
12	11,18	12,6	10,5	41	48.06	48,3	—
13	11,82	13,4	11,5	42	50,26	50,3	—
14	12,50	14,0	12,4	43	52,53	53,5	—
15	13,21	14,6	12,6	44	54,89	55,38	—
16	13,96	—	13,3	45	57,34	57,48	—
17	14,74	—	13,9	46	59,87	59,85	—
18	15,56	—	14,7	47	62,51	62,85	—

t	e	é	é'	t	e	é	é'
+48	65,23	65,20	—	+63	116,9	—	—
49	68,05	67,70	—	64	124,0	—	—
50	70,91	70,65	—	65	128,8	—	—
51	74,00	74,00	—	66	133,7	—	—
52	77,13	76,40	—	67	138,8	—	—
53	80,37	79,12	—	68	144,1	—	—
54	83,72	82,00	—	69	149,5	—	—
55	85,20	84,45	—	70	155,0	—	—
56	90,77	88,05	—	75	185,4	—	—
57	94,47	92,50	—	80	220,5	—	—
58	98,30	96,50	—	85	260,8	—	—
59	102,2	100,5	—	90	306,8	—	—
60	106,3	104,5	—	95	367,6	—	—
61	110,6	108,1	—	100	418,6	—	—
62	114,9	112,3	—	200	423,9	—	—

Ueber Schwefelkohlenstoffdampf hat Despretz*) Versuche angestellt. Er fand die Elasticität desselben bei 11°,82 R. = 4,897 Par. Z.; bei 12°,21 = 3,069; bei 12°,25 = 2,641; bei 12°,69 = 7,671; bei 13°,29 = 2,845 Par. Z., wie man sieht sehr widerspruchsvolle Resultate. Nach Clement und Desormes**) wäre die Elasticität des Schwefelkohlenstoffdampfes bei gewöhnlicher Temperatur (?) 9,5 Z.; nach Berzelius und Marcet wäre die Elasticität dieses Dampfes bei 9°,6 R. = 7,36 Z.; nach Clüzel***) bei 18° = 11,8 Z. Genauere Versuche hat Marx†) angestellt. Derselbe bediente sich eines gewöhnlichen Flaschenbarometers ab (s. umstehende Fig.), dessen etwa 1,3 Lin. weite Röhre bis über 40 Zoll verlängert war. Nach dem bei dieser Länge beschwerlichen Auskochen wurde dieses Barometer, dessen aufwärts gebogene Flasche etwa 2 Z. hoch und 1,5 Z. weit war, auf einem mit der in Zoll und Linien getheilten Scale versehenen Brete befestigt und dieses an einem Stative lothrecht aufgehangen. Ein mit Sorgfalt angestellter Versuch, die Flasche durch einen Kork, in welchem die Thermometerröhren stecken, deren Kugel in den Schwefelkohlenstoff herabging, luftdicht zu verschließen, mißlang ungeachtet des Ueberbindens mit gefirnißter Leinwand und Thierblase; es blieb also kein Mittel übrig, als die Oeffnung der Flasche in eine feine Spitze auszuziehen, diese beim Sieden des Schwefelkohlenstoffs zuzublasen, und das zum Messen der Temperatur dienende Thermometer neben dem Gefäß des Barometers in das zum Erwärmen oder Erkälten dienende Wasser zu senken. Zur Erwärmung der Flasche des Barometers diente ein Metallgefäß mit Wasser, in welches die Flasche gesenkt war, dieses

*) Ann. de Chem. et Phys. T. XXI. p. 147.
**) Gilb. Ann. Bd. XIII. S. 89.
***) Gmelin's Chemie Bd. I. S. 212.
†) Schweiggers Journ. Bd. LXII. S. 460. Gehler's Phys. Wörterb. N. A. Bd. X. S. 1090.



Gefäß aber befand sich wieder in einem anderen größeren, gleichfalls mit Wasser gefüllten, welches auf einem allmälig geheizten Windofen stand. Sollte die Temperatur unter die der Umgebung herabgebracht werden, so wurde das Wasser im größeren Gefäße durch Schnee erkältet, für die Versuche unter dem Gefrierpunkte des Wassers aber diente eine kaltmachende Mischung in dem Gefäße, worin sich die Flasche und das Thermometer befanden. Die erforderlichen Correctionen waren zuerst die Capillarität, welche nach der Vergleichung mit einem guten Heberbarometer ~ 0,82 Pariser Linien betrug, dann die Gefäßcorrection, welche aus einer vorläufigen Messung der Tiefe, bis zu welcher das Quecksilber in der Flasche sank, wenn es in der Röhre drei Zoll stieg, entnommen wurde. Eine dritte Correction für die Ausdehnung der Quecksilbersäule durch ungleiche Wärme und eine vierte für den nicht eingetauchten Theil der Thermometerröhre wurden weggelassen. Bei den beiden Versuchsreihen, deren eine die aufsteigende, die andere die absteigende heißen kann, wurde für je halbe Grade nach R. die Höhe der Quecksilbersäule abgelesen, und zwar von 7° R. an bis 47°,5, worauf dann das aus beiden entnommene Mittel als Grundlage der Berechnung diente, die nach der Mayer'schen Formel angestellt wurde.

Diese erhielt nach genauer Bestimmung der folgende Gestalt:

$$\text{Log. } e = 4{,}0653887 + \text{Log. } (213 + t) - \frac{987{,}3164}{213 + t}.$$

Zur Auffindung der Formel wurden bloß die Beobachtungen von 7° R. bis 47°,5 genommen. Die nachstehende Tabelle enthält die beobachteten und die berechneten Elasticitäten in Pariser Linien und die ihnen zugehörigen Temperaturen nach der achtzigtheiligen Scala.

Temperatur	Elasticitäten		Temperatur	Elasticitäten	
	beobachtet	berechnet		beobachtet	berechnet
Gr. R.	Par. Lin.	Par. Lin.	Gr. R.	Par. Lin.	Par. Lin.
— 7	32,00	38,60	— 2	48,60	51,22
— 6	38,00	40,81	— 1	55,50	54,15
— 5	39,00	43,23	0	58,50	58,41
— 4	40,36	45,78	+ 1	60,25	60,42
— 3	44,00	48,43	2	63,30	63,79

Temperatur	Elasticitäten beobachtet	Elasticitäten berechnet	Temperatur	Elasticitäten beobachtet	Elasticitäten berechnet
Gr. R.	Par. Lin.	Par. Lin.	Gr. R.	Par. Lin.	Par. Lin.
3	65,10	65,76	26	205,12	205,08
4	71,00	70,95	27	213,75	213,77
5	75,00	74,81	28	224,37	223,79
6	78,00	78,80	29	233,35	233,62
7	83,24	82,99	30	243,13	243,94
8	87,50	87,37	31	253,88	254,47
9	91,62	91,92	32	264,37	265,41
10	96,62	96,67	33	275,87	276,75
11	101,12	101,41	34	287,37	288,45
12	106,75	106,80	35	299,87	300,38
13	111,75	112,18	36	312,12	313,06
14	117,79	117,80	37	325,62	326,02
15	123,50	123,61	38	339,12	339,20
16	129,37	129,72	39	354,87	353,17
17	135,75	136,01	40	367,62	367,56
18	142,25	142,56	41	382,37	382,24
19	148,81	149,40	42	396,86	397,41
20	156,25	156,43	43	414,62	413,20
21	163,52	163,75	44	431,20	429,10
22	171,29	171,17	45	447,00	446,05
23	179,12	176,36	46	462,12	463,38
24	187,62	187,70	47	482,00	481,09
25	196,37	196,24	47,5	494,00	490,18

Der Vollständigkeit wegen will ich auch noch die Beobachtungen von **Cagniard de la Tour** *) über die Elasticität des Kohlenwasserstoffgases anführen, mit denen die **Marx**'sche Formel ziemlich übereinstimmende Resultate giebt. In Atmosphären ausgedrückt fand er dieselbe

bei 80,00 R.	4,2	bei 184,00 R.	40,2
„ 88,80	5,5	„ 194,40	47,5
„ 100,00	7,9	„ 204,00	57,2
„ 110,00	10,0	„ 216,00	66,5
„ 120,00	13,0	„ 224,00	78,8
„ 129,60	16,5	„ 232,00	89,2
„ 140,00	20,2	„ 240,00	98,9
„ 148,00	24,2	„ 252,00	114,3
„ 160,00	28,8	„ 260,00	129,6
„ 170,00	33,6	„ 264,00	133,5

*) Ann. de chym. et phys. T. XXII. p. 413.

Ure fand beim Dampfe von Steinöl folgende Elasticitäten für die entstehenden Temperaturen.

Gr. R.	= Par. Z.	Gr. R.	= Par. Z.
126,22	28,2	141,33	43,9
128,00	29,7	143,56	47,1
130,22	31,8	145,78	49,9
132,44	34,1	148,00	53,4
134,67	36,3	150,22	57,0
136,89	39,1	151,11	58,2
139,11	41,3	152,44	60,0

Für Terpentinöldampf fand derselbe

Gr. R.	= Par. Z.	Gr. R.	= Par. Z.
120,89	28,15	136,89	44,30
122,52	30,45	138,22	46,28
123,56	31,35	140,00	48,51
125,78	33,15	141,33	50,62
128,00	34,70	143,11	53,11
128,89	35,48	144,44	55,10
130,67	37,70	145,78	57,51
132,44	39,40	146,67	58,52
135,11	42,28		

Faraday *) hat die Erfahrung gemacht, daß durch starken Druck viele, sonst für permanent gehaltene Gase in tropfbare Flüssigkeiten verwandelt werden können, und bei dieser Gelegenheit hat er den Druck bestimmt, den die Dämpfe dieser Flüssigkeiten bei gewissen Temperaturen äußern.

Hierzu kommen spätere Versuche von Niemann **), Bunsen ***), Bussy ****), Mitchell †) und Thilorier ††).

Die Resultate dieser Beobachtungen sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

*) Phil. Trans. 1823. p. 160, 189.

**) Brandes Archiv Th. XXXVI. S. 175. Fechner's Repertorium der Phys. Th. I. S. 180.

***) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 97.

****) Pogg. Ann. Bd. I. S. 238.

†) Silliman J. T. XXXV. p. 346.

††) Pogg. Ann. Bd. XXXVI. S. 143.

Gase	Temperatur C°.	Spannkraft Atmosphären	Gase	Temperatur C°.	Spannkraft Atmosphären
Ammoniak (Bn) . .	— 33°,7	1	Kohlensaures (Th) .	— 50	1
	— 5,0	4		— 20	26
	— 0,0	4,8		0	36
	+ 10,0	6,5		+ 30	73
	+ 15,0	7,6	" " (M) .	+ 6,4	45
	+ 20,0	8,8		+ 10,6	60
" " (F). .	0,0	5		+ 30,0	72
	+ 10,0	6,5	" " (N) .	0,0	40
Chlor (F)	+ 15,0	4		+ 12,5	60
" (N)	0,0	6,5	Schwefligsaures (B)	— 10,0	1
	+ 12,5	8,5	" " (F)	+ 7,2	2
Chlorwasserstoff (F) .	— 16,0	20	" " (Bn)	— 10,0	1,03
	— 4,0	25		— 5,0	1,5
	+ 10,0	40		0,0	1,94
" " (N) .	0,0	33		+ 10,0	3,15
	+ 12,5	40		+ 15,0	3,85
Cyan (F)	+ 7,2	3,6		+ 20,0	4,6
" (Bn)	— 20,0	1,05		+ 25,0	5,5
	— 15,0	1,45	Schwefelwasserstoff(F)	— 16,0	14
	— 10,0	1,85		+ 10,0	17
	— 5,0	2,3	" " (N)	0,0	54
	0,0	2,7		+ 12,5	58
	+ 5,0	3,2	Stickstoffoxydul (F).	0,0	44
	+ 10,0	3,8		+ 7,2	51
	+ 15,0	4,4			
	+ 20,0	5			

Wenn *zwei oder mehrere ausdehnsame Flüssigkeiten* (Dämpfe oder Gase) *in ein und demselben Raume* eingeschlossen sind, so gehen sie durch einander in der Weise hindurch, wie wenn jede für sich allein in dem Raume enthalten wäre. Eine Ausnahme von diesem Gesetze machen nur diejenigen ausdehnsamen Flüssigkeiten, welche sich gegenseitig chemisch afficiren. Da man die ersten Beobachtungen über die Entwickelung der Dämpfe in lufterfüllten Räumen anstellte, so nahm man früher an, die Luft schwängere sich mit Dämpfen, sie absorbire diese und sie sei also eine Bedingung zur Constituirung der Dämpfe. Dem ist aber nicht so, sondern die Dämpfe entwickeln sich unter dem Einflusse der Temperatur ganz in derselben Weise im luftleeren Raume, wie im lufterfüllten. Wenn man hiernach eine Anzahl gleicher Volumina verschiedener Dämpfe oder Gase von gleicher Temperatur zusammenbringt und das Gemenge wieder auf dasselbe Volumen durch Druck reducirt, so ist die Spannkraft dieses Gemenges gleich der Summe der Spannkräfte der einzelnen Gase und Dämpfe, vorausgesetzt, daß die Temperatur unverändert dieselbe geblieben. Um die Richtigkeit dieses Satzes

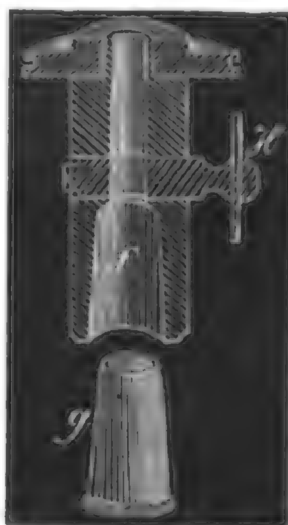
I.



durch den Versuch zu erweisen, hat Gay-Lussac*) folgenden Apparat angegeben.

Die vom Gestell abgeschraubte calibrirte weitere Röhre T, welche an ihrem unteren Ende in die Dille d festgekittet ist, wird mit so viel Quecksilber gefüllt, daß dieses nach dem Umkehren etwa bis zur Hälfte des Raumes zwischen der oberen Wölbung und dem Verbindungsstücke reicht. Durch Abfließen aus dem Hahn r oder Zugießen durch den Trichter e wird das Quecksilber in der calibrirten Röhre T mit dem in der 4 bis 5 Millimeter weiten, 45 Centimeter langen Röhre S ins Niveau gebracht, und dann durch den Trichter e die zu verdampfende Flüssigkeit, gewöhnlich Aether, hineingegossen. Oeffnet man nun den Hahn r, so wird das Quecksilber in S schneller fallen als in T, der eingefüllte Aether daher bald zur Verbindungsstelle gelangen und durch das Quecksilber in T aufsteigen. Ist die eingelassene Quantität genügend, so verschließt man r, und befördert die Verbreitung der Aetherdämpfe dadurch, daß man durch Neigen des Apparates die Wände von T mit Aether befeuchtet. Stellt man durch Eingießen von Quecksilber in den Trichter e den anfänglichen Raum in T wieder her, so erhält man durch die für Capillarität corrigirte Säule in S die verlangte Spannung der Dämpfe.

II.



Eine Verbesserung dieses Apparates nach Magnus ist durch den Hahn H gegeben, welcher statt des Hahnes r angebracht ist. Figur II. stellt ihn im Durchschnitte dar. Der stählerne Hahn hat bei f eine konische Erweiterung, in welche genau das kleine oben offene Gefäß g paßt. Nachdem das Instrument wie vorher mit Quecksilber gefüllt, der Hahn H aber verschlossen ist, thut man die Flüssigkeit, deren Dampf man in die Röhre T bringen will, in das Gefäß g, schiebt dieses in f hinein und öffnet den Hahn. Alsbald wird (indem man den Apparat etwas neigt) die Flüssigkeit aus g nach T emporsteigen, indem an ihre Stelle Quecksilber tritt. Durch Eintauchen des

*) Ann. de Chem. et Phys. T. LI. p. 435. Poggend. Ann. Bd. XXVII. S. 681. Dove's Repertorium der Physik Bd. I. S. 51.

ganzen Apparates in Wasser kann man ihm diejenige Temperatur geben, bei welcher man die Beobachtungen anstellen will.

Die Versuche mit dem Gay-Lussac'schen Apparat werden nun wie folgt angestellt. Man erfüllt die Röhre T bis zu einem gewissen Theilstriche mit irgend einer expansiblen Flüssigkeit, im übrigen aber mit Quecksilber; bringt das Quecksilber in beiden Röhren in gleiches Niveau; läßt die zweite expansible Flüssigkeit in den Raum über dem Quecksilber in T treten; gießt endlich in die Röhre S so viel Quecksilber nach, daß das Quecksilber in T auf den früheren Stand zurück gebracht wird. Mißt man jetzt den Abstand des Niveaus des Quecksilbers in S von dem Niveau des Quecksilbers in T, so wird die gefundene Größe der Länge derjenigen Quecksilbersäule gleich sein, welche die Expansion des betreffenden Dampfes oder Gases bei der herrschenden Temperatur ausdrückt.

Anstatt nach Einbringung der zweiten expansiblen Flüssigkeit in den Raum durch Nachgießen von Quecksilber in S das frühere Volumen wieder herzustellen, kann man auch den früheren Druck wieder herstellen, indem man die Niveaus in beiden Röhren wieder auf gleiche Höhe bringt. Dann verändert sich mithin das Volumen. Nach dem Mariotte'schen Gesetze verhalten sich die Volumina ausdehnsamer Flüssigkeiten umgekehrt wie die Drucke. Bezeichnet also v das erste Volumen, v' das zweite, p die anhängliche Spannkraft, p' die Spannkraft des Gemenges, so hat man

$$v : v' = p' : p \text{ oder } p' = \frac{v\,p}{v'}.$$

Nach Herstellung des gleichen Niveaus in beiden Röhren hält die Spannkraft der atmosphärischen Luft p, welche der Spannkraft der ersten expansiblen Flüssigkeit im Raume v gleich und welche durch den Barometerstand gegeben ist, der Spannkraft des Gasgemenges das Gleichgewicht. Es muß also p gleich sein der Summe der Spannkräfte der ersten ausdehnsamen Flüssigkeit in dem zweiten Volumen $\left(\frac{v\,p}{v'}\right)$ und der zweiten expansiblen Flüssigkeit (e); d. h. es muß $p = \frac{v\,p}{v'} + e$ sein; oder es muß $e = p\left(\frac{v' - v}{v'}\right)$ sein.

Das eben Mitgetheilte gilt von allen Gasen und von allen Dämpfen unter dem Maximum ihrer Spannkraft und auf demselben. Nur wenn zwei Dämpfe im Maximum der Spannung, also während sie mit den Flüssigkeiten, aus welchen sie sich bilden, in Verbindung stehen (in welchem Falle stets Dampf in dem der herrschenden Temperatur entsprechenden Maximum sich bildet), gemengt werden, treten in den meisten Fällen Unregelmäßigkeiten ein, d. h. die Spannkraft des Dampfes der Mischung ist nicht mehr der Summe der Spannkräfte der Dämpfe der einzelnen Flüssigkeiten gleich.

Zur Bestimmung der Dichtigkeit oder des specifischen Gewichtes der Dämpfe, namentlich des Wasserdampfes, sind ebenfalls nach verschiedenen Methoden Versuche angestellt worden, welche zum Theil sehr verschiedene Resultate gegeben haben. Die Aufgabe geht also darauf hinaus, die Zahl zu bestimmen, welche das Verhältniß des Gewichtes einer gewissen Quantität Dampfes von bestimmter Temperatur und unter bestimmtem Drucke zu dem Gewichte einer gleich

großen Quantität Wasser (gegen Wasser = 1) oder atmosphärischer Luft (gegen Luft = 1) unter gleichen Bedingungen angiebt.

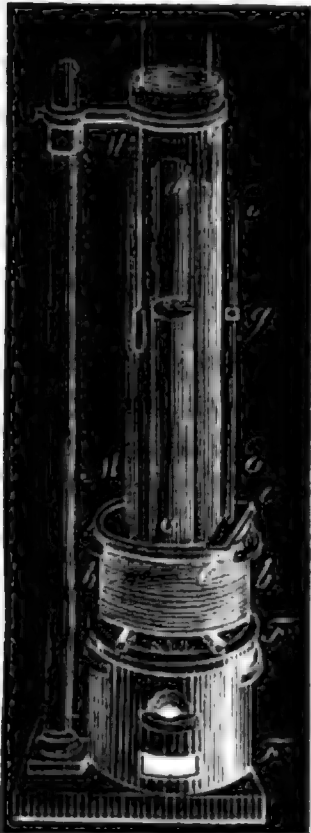
Die Resultate der älteren Versuche hat Schmedding *) in folgender Tabelle zusammengestellt.

Beobachter	Temperatur	Dichte, die der Luft = 1.	Quelle
Watt	80° R.	0,6334	Robison, Mech. Phil. T. II. p. 115. Lichtenberg, Gött. Magaz. Jahrg. III. S. 182.
Davy	mittl.	0,6666	Elem. of Agric. Chem. T. V.
Dalton	mittl.(80°?)	0,7000	Gilb. Ann. Bd. XXI. S. 125.
Saussure	1°,75	0,74089	Versuche üb. d. Hygrometrie. S. 128—146.
„	6,18	0,68581	
„	15,16	0,68329	
Clement u. Desormes	10	0,53106	Gilb. Ann. Bd. XV. S. 144.
„	10	0,54705	
Anderson	7,56	0,65233	Edinb. Encycl. Art. Hygrometry. Daniell, Meteorolog. Ess. p. 160.
„	12	0,66298	
„	20	0,63237	
„	22,67	0,62507	
Mayer	15	0,80124	Comment. de vi elast. vaporum p. 93. (Comm. Soc. Gott. rec. V. I., 1808—11.)
Despretz	13,95	0,58518	Ann. de chim. et de phys. T. XXI. p. 143.
„	15,45	0,70367	
Gay-Lussac . . .	80	0,62350	Ann. de chim. T. LXXX. p. 218. Ann. de chim. et de phys. T. I. p. 218. Gilb. Ann. Bd. XLV. S. 333. Biot, Traité de phys. T. I. p. 291.
Brunner	7,6	0,64903	Pogg. Ann. Bd. XX. S. 281.
G. G. Schmidt . .	80	0,72200	Gren's Neues Journ. Bd. IV. S. 301.
Southern	87,56	0,64789	Robison Mech. Phil. T. II. p. 163.
„	105,78	0,69572	
„	116,89	0,70945	
Muncke	0	0,82738	Phys. Abhandl. Gießen 1816. Schweigger's Journ. Bd. XXI. S. 1.
„	3	0,84691	
„	6	0,88358	
„	6,75	0,88917	
„	7,5	0,90757	
„	10	0,86618	
„	12	0,79572	
„	15	0,71856	
„	16	0,65941	
„	18	0,69400	
„	19	0,72142	
„	19,5	0,73346	
„	22	0,73347	
„	30	0,65010	
„	35	0,63481	

*) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 41.

Das größte Ansehen unter diesen Versuchen erlangten die von Gay-Lussac.

Der Apparat, dessen sich derselbe bediente, ist nach Biot's *) Beschreibung folgender: Um zuvörderst die Quantität angewandter Flüssigkeit ganz genau bestimmen zu können, worin eigentlich die wahre Schwierigkeit der Aufgabe begründet liegt, bläst Gay-Lussac an der Lampe kleine Glaskugeln. Sie sind fast ganz kugelförmig, verlängern sich aber an einer Seite in einen ganz feinen Schnabel. Man wiegt zuerst jede dieser kleinen Kugeln, wenn nur noch Luft darin enthalten ist, und bringt dann die Flüssigkeit hinein, gerade als wenn man es mit Füllung einer Thermometerröhre oder eines kleinen Heronsballes zu thun hätte, indem man sie in diese Flüssigkeit nach vorgängiger Erhitzung, um einen Theil der Luft hinauszutreiben, taucht. Ist die kleine Kugel fast ganz angefüllt, so schmilzt man den Schnabel mittelst einer Lichtflamme zu, welche man durch ein Löthrohr darauf bläst. Hierdurch erleidet das Glas, aus dem die Kugel besteht, keinen Substanzverlust, sondern erhält bloß eine andere Gestalt; darauf wiegt man die jetzt angefüllte Kugel abermals, und findet dadurch, nach Abzug des Gewichts der Hülle, welches durch die vorgängige Wägung bestimmt worden war, das Gewicht der darin enthaltenen Flüssigkeit, woraus sich ihr Volumen ableiten läßt. Um nun diese ganze Quantität Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln, bedient sich Gay-Lussac eines Apparates, welcher dem von Dalton zur Beobachtung der Spannung der Dünste im leeren Raum angewandten ähnlich. Er nimmt eine auf der einen Seite verschlossene Glasröhre aa, welche in Theile von gleicher Capacität eingetheilt ist, und deren Totalcapacität ungefähr anderthalb Litres beträgt. Diese füllt er mit Quecksilber an, und stürzt sie in ein Bad von dem nämlichen Metall im Gefäß bb um, worauf er die kleine, mit Flüssigkeit angefüllte, Glaskugel hinein bringt. Diese steigt nach dem oberen Theil der Röhre, alle Flüssigkeit, welche sie enthält, mit sich nehmend. Jetzt hat man diese noch zu verdampfen. Zu diesem Zwecke umgiebt Gay-Lussac die Röhre aa mit einer cylindrischen Glashülle MM, die länger ist als jene, und mit ihrem unteren Theil in das Quecksilber taucht. Er füllt diesen Cylinder mit Wasser an, so daß die Röhre aa davon überdeckt wird und stellt dann den ganzen Apparat auf einen Ofen FF, in welchem er Feuer giebt. Das Wasser und Quecksilber bewirken durch ihre Erhitzung auch die Erhitzung der in der kleinen Glaskugel enthaltenen Flüssigkeit. Diese dehnt sich aus, zersprengt ihre Hülle, breitet sich im oberen Theil der Glocke aus, und verwandelt sich dort bald in Dampf, dessen Temperatur man erhöht, bis das Wasser des Cylinders ins Sieden gekommen ist. Darauf mißt man die Höhe der, in der Glocke über dem Niveau des außerhalb befindlichen Quecksilbers stehen gebliebenen, Quecksilbersäule. Dies mit Genauigkeit thun zu können, verfährt Gay-Lussac auf



*) Biot, Traité de Phys. T. I. p. 291.

folgende Weise. Die Ränder des Gefäßes bb, das als Wanne dient, sind gut abgeschliffen und mittelst einer Wasserwage horizontal gestellt. Auf diese Ränder legt er ein kupfernes Lineal cc, durch welches vertical ein eingetheilter Maßstab dd hindurchgeht, der sich unten in eine Spitze endigt, welche man so tief stellt, daß sie die äußere Oberfläche des Quecksilbers gerade berührt. Ein Läufer g, der längst dieses verticalen Maßstabes auf- und abwärts beweglich ist, wird durch Drehen einer Schraube bis zu der Höhe gebracht, bei welcher das Quecksilber in der Glocke stehen geblieben ist, wo dann der Abstand dieses Läufers vom unteren Ende des Maßstabes, der durch die Eintheilung des Maßstabes selbst gemessen wird, die Höhe der Quecksilbersäule angiebt, die in der Glocke über dem Niveau des außerhalb befindlichen Quecksilbers steht. Man zieht diese Höhe von der ab, welche das Quecksilber im nämlichen Augenblick im Barometer hat, nachdem beide auf die nämliche Temperatur zurückgeführt worden sind; und der Ueberschuß der zweiten über die erste giebt genau das Maß für die Spannkraft des in der Glocke enthaltenen Dampfes, d. h. für den Druck, den er ausübt. Man weiß überdies, welches Volumen dieser Dampf hat, indem dasselbe durch die Zahl der Abtheilungen der Glocke, welche er einnimmt, gegeben ist; und kann nun nach diesen Angaben das Verhältniß der Volumen der tropfbaren Flüssigkeit und ihres Dampfes für eine bestimmte Temperatur und einen bestimmten Druck berechnen.

Muncke*) erinnert bei diesem Verfahren Gay-Lussac's: die das Quecksilber in der Meßröhre herabdrückende Capillardepression gebe den Raum zu groß, und die Erhitzung könne leicht etwas Luft und Wasser von dem nicht ausgekochten Quecksilber, welches freistehend oder beim Einfüllen in die Röhre etwas Feuchtigkeit und Luft aufnehmen mußte, wieder entbinden, welche beide Ursachen die Dichtigkeit zu gering geben. Hätte jedoch Gay-Lussac das Quecksilber vorher in der Röhre ausgekocht, so wäre er in den entgegengesetzten Fehler verfallen, dann hätte das Quecksilber etwas Feuchtigkeit aufgesogen, und die Capillardepression wäre mehr als compensirt worden. Wenn bei dem Gay-Lussac'schen Verfahren ein richtiges Resultat gewonnen werden soll, so ist vor allem nöthig, daß das sämmtliche über das Quecksilber in die Röhre aa gebrachte Wasser (oder andere Flüssigkeit) in Dampf verwandelt sei. Ob dieses der Fall sei, davon kann man sich aus Beobachtung der Elasticität des Dampfes überzeugen, welche nach dem Vorigen bekannt ist. Ist diese so groß, als bei der Temperatur erforderlich ist, so ist gewiß alles Wasser in Dampf verwandelt, am sichersten aber, wenn sie etwas kleiner gefunden wird; denn dann hat die Flüssigkeit nicht einmal hingereicht, unter der Glocke allen Dampf zu entwickeln, der dieser Temperatur zukommt. Die Berechnung aus den unmittelbaren Beobachtungen und den Berichtigungen sind nun folgende.

Gesetzt, das Gewicht der in Dampf umgestalteten Flüssigkeit (in Grammen) sei $= g$; die Länge des Raumes der Glasröhre aa, welchen der Dampf einnimmt (gemessen durch die an derselben befindlichen Abtheilungen) sei $= n$, jede Abtheilung habe eine Größe $= a$; so ist das ganze Volumen, welches der Dampf einnimmt, $= na$. Es ist aber noch zu berücksichtigen, daß sich das Glas durch die Wärme ausdehnt, also nach der Umwandlung in Wasser der Cylinder aa auch

*) Gehler's phys. Lex. N. A. Bd. II. S. 377.

einen größeren Rauminhalt hat, als vor der Erwärmung. Die Ausdehnung des Glases für einen Grad sei c, so ist bei t° C. die Größe des Volumens $= na + natc = na\,(1 + ct)$, also das Volumen Eines Grammes Dampf

$$= \frac{(1 + tc)\,na}{g}.$$

Der Dampf im Cylinder steht aber nicht unter dem ganzen Drucke der Luft, sondern dieser wird zum Theil durch die Quecksilbersäule im Cylinder aa aufgewogen. Wenn B den ganzen Luftdruck und b die Länge der im Cylinder aa befindlichen Quecksilbersäule bedeutet, so ist der auf den Dampf wirkende Druck $= B - b$. Das Volumen v des Dampfes, den eine Gramme Wasser unter dem gewöhnlichen Luftdruck von $0^m,76$ (= 28, 8 Z.) giebt, ist

$$= \frac{na\,(1 + tc)\,(B - b)}{0{,}76\;g}.$$

Wenn man dieses Gewicht mit demjenigen vergleicht, welches der Dampf bei gleichem Volumen, bei derselben Temperatur und demselben Drucke der Luft einnimmt, so erhält man das Verhältniß der specifischen Gewichte des betreffenden Dampfes und der atmosphärischen Luft.

Bei einem solchen Versuche war (nach Baumgartner *) die Wassermenge 0,600 Gr. und gab bei 100° C. Dampf, der 220 Abtheilungen des Cylinders aa erfüllte, wovon jede 0,00499316 Liter hielt. Das Quecksilber in dem Cylinder aa stand um 52^{mm} höher als außerhalb desselben und der Luftdruck war $755{,}5^{mm}$. Reducirt man diese beiden Quecksilbersäulen, wovon die letztere die Temperatur von 15° C. hatte, auf 0° C., so hat man

$$\text{für die erste } 52\left(1 - \frac{100}{5550}\right) = 51{,}06$$

$$\text{für die zweite } 755{,}5\left(1 - \frac{15}{5550}\right) = 753{,}46.$$

Da ferner g **) = 0,600, n = 220, a = 0,00499316, B = 753,47, b = 51,07, mithin $B - b = 702{,}40$ ist, so wird

$$v = 1{,}6964 \text{ Liter}$$

und ein Liter wiegt $\frac{1}{16964}$ Gramme. Ein Liter atmosphärische Luft wiegt bei 100° C. und unter dem Luftdrucke von $0^m,76$ $\frac{1}{1{,}0577}$ Gr. Folglich ist das Verhältniß zwischen der Dichte des Wasserdampfes und der atmosphärischen Luft $= \frac{10577}{16964}$ oder nahe $= \frac{10}{16}$ oder $\frac{5}{8}$.

Bezeichnet d' die Dichtigkeit des Wasserdampfes für die Temperatur t bei dem Drucke p, d die Dichtigkeit desselben bei 100° C. und bei einem Drucke von $0^m,76$ endlich α den Ausdehnungscoefficienten der Luft; so ist

---

*) Baumgartner, Naturlehre. Suppl. S. 253.

**) Die Bedeutung der Buchstaben ist die oben angegebene, die Werthe derselben werden in die Formel gesetzt, so erhält man:

$$\frac{220.\;0{,}00499316\,(1 + 0{,}0000262716.\;100)\;702{,}40}{0{,}600.\;0{,}76} = 1{,}6964$$

$$d' = d \frac{p}{160} \frac{(1 + 100\,\alpha)}{(1 + \alpha\,t)}.$$

Der Ausdehnungscoefficient der Luft wird von Gay-Lussac zu 0,00375 angenommen. (S. Bd. I. S. 619.) Nach diesen Bestimmungen sind die nachfolgenden Tabellen berechnet.

I.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, wenn man zur Einheit die Dichtigkeit und das Volumen des flüssigen Wassers bei 0° nimmt:

von — 20° bis 100° C.

Temperatur in Graden	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit	Volumen	Temperatur in Graden	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit	Volumen
— 20	1,333	0,00000154	650588	33	36,188	0,00003435	29112
— 15	1,879	212	470898	34	38,254	3619	27636
— 10	2,631	292	342984	35	40,404	3809	26253
— 5	3,660	398	251358	36	42,743	4017	24897
0	5,059	540	182323	37	45,038	4219	23704
+ 1	5,393	573	174495	38	47,579	4442	22513
2	5,748	609	164332	39	50,147	4666	21429
3	6,123	646	154842	40	52,998	4916	20343
4	6,523	686	145886	41	55,772	5156	19396
5	6,947	727	137488	42	58,792	5418	18459
6	7,396	772	129587	43	61,958	5691	17572
7	7,871	818	122241	44	65,627	6023	16805
8	8,575	867	115305	45	68,751	6274	15938
9	8,909	919	108790	46	72,393	6585	15185
10	9,475	974	102670	47	76,205	6910	14472
11	10,074	0,00001032	99202	48	80,195	7242	13800
12	10,707	1092	91564	49	84,570	7602	13154
13	11,378	1157	86426	50	88,742	7970	12546
14	12,087	1224	81686	51	93,301	8354	11971
15	12,837	1299	77008	52	98,075	8753	11424
16	13,630	1372	72913	53	103,060	9174	10901
17	14,468	1451	68923	54	108,270	9606	10410
18	15,353	1534	65201	55	113,710	0,00010054	9946
19	16,288	1622	61654	56	119,390	10525	9501
20	17,314	1718	58224	57	125,310	11011	9082
21	18,317	1811	55206	58	131,500	11523	8680
22	19,417	1914	52260	59	137,940	12044	8303
23	20,577	2021	49487	60	144,660	12599	7937
24	21,805	2133	46877	61	151,700	13179	7594
25	23,090	2252	44411	62	158,960	13760	7267
26	24,452	2376	42084	63	166,560	14374	6957
27	25,881	2507	39895	64	174,470	15010	6662
28	27,390	2643	37838	65	182,710	15668	6382
29	29,045	2794	35796	66	191,270	16356	6114
30	30,643	2938	34041	67	200,180	17060	5860
31	32,410	3097	32291	68	209,440	17797	5619
32	34,261	3263	30650	69	219,060	18566	5386

Temperatur in Graden	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit	Volumen	Temperatur in Graden	Spannkraft in Millim.	Dichtigkeit	Volumen
70	229,070	0,00019355	5167	86	449,260	0,00036237	2760
71	239,450	20174	4957	87	467,380	37590	2660
72	250,230	21013	4795	88	486,090	38984	2565
73	261,430	21889	4569	89	505,380	40417	2474
74	273,030	22794	4387	90	525,280	41891	2387
75	285,070	23789	4204	91	545,800	43405	2304
76	297,570	24702	4048	92	566,950	44956	2224
77	310,490	25699	3891	93	588,740	46556	2148
78	323,890	26739	3741	94	611,180	48201	2075
79	337,760	27789	3599	95	634,270	49886	2005
80	352,080	28889	3462	96	658,050	51613	1938
81	367,000	30025	3331	97	682,590	53388	1873
82	382,380	31195	3206	98	707,630	55191	1812
83	398,250	32399	3087	99	733,460	57055	1751
84	414,730	33637	2973	100	760,000	58955	1696
85	431,710	34916	2864				

II.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, die Dichtigkeit und das Volumen des Wassers bei 0° gleich 1 gesetzt,

von 1 bis 50 Atmosphären.

Temperatur	Spannkraft in Atmosphären	Dichtigkeit	Volumen	Temperatur	Spannkraft in Atmosphären	Dichtigkeit	Volumen
100	1	0,0005895	1696	193,7	13	0,006107	163,74
112,2	1½	0,0008563	1167,8	197,2	14	0,006327	158,10
121,4	2	0,0011147	897,09	200,5	15	0,006944	144,00
128,8	2½	0,0013673	731,39	203,6	16	0,007359	135,90
135,1	3	0,0016150	619,19	206,6	17	0,007769	128,71
140,6	3½	0,0018589	537,96	209,4	18	0,008178	122,28
145,4	4	0,0020997	476,26	212,1	19	0,008583	116,51
149,1	4½	0,0023410	427,18	214,7	20	0,008986	111,28
153,1	5	0,0025763	388,16	217,2	21	0,009387	106,53
156,8	5½	0,0028091	355,99	219,6	22	0,009785	102,19
160,3	6	0,0030402	328,93	221,9	23	0,010182	98,21
163,3	6½	0,0032683	305,98	224,2	24	0,010575	94,56
166,5	7	0,0034911	286,12	226,3	25	0,010968	91,17
169,4	7½	0,0037217	268,82	236,2	30	0,012903	77,50
172,1	8	0,0039434	253,59	244,8	35	0,014663	68,20
177,1	9	0,0043865	227,98	252,5	40	0,016644	60,08
181,6	10	0,0048226	207,36	259,5	45	0,018497	54,06
186,0	11	0,0052557	190,27	265,9	50	0,020306	49,32
190,0	12	0,0056834	175,96				

III.

Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, die Dichtigkeit und das Volumen des Wassers bei 0° zur Einheit genommen,

von 100 bis 1000 Atmosphären.

Temperatur	Spannkraft in Atmosphären	Dichtigkeit	Volumen	Temperatur	Spannkraft in Atmosphären	Dichtigkeit	Volumen
311,36	100	0,037417	26,726	462,71	600	0,17791	5,621
363,58	200	0,068635	14,570	478,45	700	0,20318	4,921
397,65	300	0,097671	10,238	492,47	800	0,2229	4,387
423,57	400	0,12534	7,978	505,16	900	0,2522	3,965
444,70	500	0,15202	6,578	516,76	1000	0,276	3,622

Die Art und Weise, in der Muncke *) seine Versuche über die Dichte des Wasserdampfes anstellte, beschreibt er selbst, wie folgt:

„Ich nahm einen Ballon von feinem englischen Glase, 155 französische Cubikzoll haltend, am oberen Theile des Halses mit einer messingenen Fassung gg zum Aufschrauben auf die Luftpumpe versehen, und mit dem genau schließenden Hahne f, um der äußeren Luft auch auf längere Zeit allen Zugang abzuschließen, und jeden Versuch mehrmals wiederholen zu können. Aus der Fassung war ein Thermometer so herabgelassen, daß die Kugel desselben a sich möglichst genau im Mittelpunkte des Ballons befand; die Rückseite der Thermometerscale trug aber ein kleines Heberbarometer bb, um sowohl beim Exantliren den Grad der Verdünnung und nachher das feste Schließen aller Theile zu controliren, als auch späterhin die Elasticität des eingeschlossenen Dampfes bei verschiedenen Temperaturen beiläufig zu messen. Die Flüssigkeit, aus welcher der Dampf gebildet werden sollte, befand sich in kleinen Röhrchen r mit feinen Spitzen, wie in den Versuchen von Gay-Lussac, und diese wurden vermittelst zweier auf die Enden gesteckter Bleikugeln α, α, durch eine Erschütterung des Ballons zerschellt, und so der Ballon mit

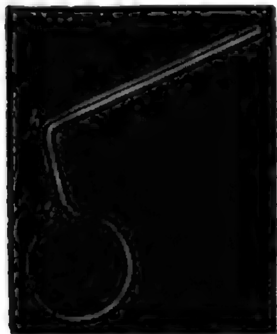


*) Gehler's phys. Lex. N. A. Bd II. S. 376.

Dampf gefüllt. Hauptsächlich aber war erforderlich, darauf zu achten, daß keine Feuchtigkeit im Ballon blieb. Zu diesem Ende trocknete ich denselben sorgfältig, welches bei der ausnehmenden Klarheit des englischen Glases zwar nicht ohne Mühe, aber eben so sicher als vollständig geschehen konnte, exantlirte ihn bis zur Luftverdünnung von 2 bis 0,5 Linien, füllte ihn dann mit Luft, welche über kaustischem Kali getrocknet war, exantlirte abermals, und wiederholte dieses Verfahren wohl zwei bis dreimal, zerschellte dann das Röhrchen, und suchte durch allmäliges, vorsichtiges Erwärmen diejenige Temperatur zu finden, bei welcher alle Flüssigkeit völlig expandirt war, ohne an den inneren Wänden des Ballons den geringsten, leicht kenntlichen Niederschlag zu bilden. Als Resultat der gesammten Versuche geht gleichfalls hervor, daß die Dichtigkeit der Dämpfe zur Luft unter gleichem Drucke und bei gleicher Temperatur eine constante Größe sei, welches Verhältniß indeß um eine Kleinigkeit größer ist, als das von Gay-Lussac gefundene, nämlich 10: 15,75; auch nimmt dieses Verhältniß bei höheren Temperaturen zu, wie aus der Natur der Dämpfe von selbst folgt."

In den chemischen Laboratorien hat besonders das von Dumas eingeschlagene Verfahren zur Bestimmung der Dichtigkeit (specifischen Gewichtes) der Dämpfe Eingang gefunden. Dumas *) kam auf dasselbe, weil er Dämpfe wägen wollte, welche das Quecksilber angriffen, und er bemerkte, daß sich sein Verfahren auf alle Körper anwenden lasse, welche unterhalb der Temperatur, bei welcher das Glas weich wird, verdampfen. Dieses Verfahren beschreibt und exemplificirt Liebig **) wie folgt.

Man nimmt einen kleinen trockenen und reinen Glaskolben von 3 bis 500 Cubikcentimeter Inhalt, (s. nebenstehende Figur), verbindet seinen Hals mit der Luftpumpe, indem man in die Verbindung ein mit Chlorcalcium gefülltes Rohr einschiebt, pumpt die Luft aus und läßt durch Oeffnen des Hahnes (der Luftpumpe) abwechselnd Luft wieder einströmen; man erreicht hierdurch den Zweck, die feuchte Luft in dem Inneren des Kolbens durch Luft zu ersetzen, welche beim Durchstreichen durch die mit Chlorcalcium gefüllte Glasröhre getrocknet worden ist. Man zieht nun den Kolben bei a in eine 6 bis 8 Zoll lange, enge Röhre aus, giebt ihr eine Biegung bei b, schneidet die Spitze vermittelst einer scharfen Feile ab, und schmilzt in einer Spirituslampe den scharfen Rand derselben glatt. Das Glas des Kolbens darf sich bei dem Weichwerden nicht blättern oder schwärzen; es ist sonst schwierig oder unmöglich, die Spitze nachher schnell und leicht zuzuschmelzen. Man hat also eine Kugel oder einen Ballon mit einer ausgezogenen Spitze. Man wiegt nun den offnen ausgezogenen Ballon und läßt ihn eine Zeitlang auf der Waage liegen, bis man sieht, daß sich durch Anziehung von Feuchtigkeit von der Oberfläche des Glases sein Gewicht nicht mehr ändert. Man hat nun in dieses Gefäß die Flüssigkeit oder den geschmolzenen festen Körper zu bringen. Zu diesem Zwecke erwärmt



*) Ann de Chim. et Phys. T. XXXIII. p. 332. — Pogg. Ann. Bd. IX. S. 293. 416. — Dumas, Traité de chimie. Paris. T. V. p. 45.

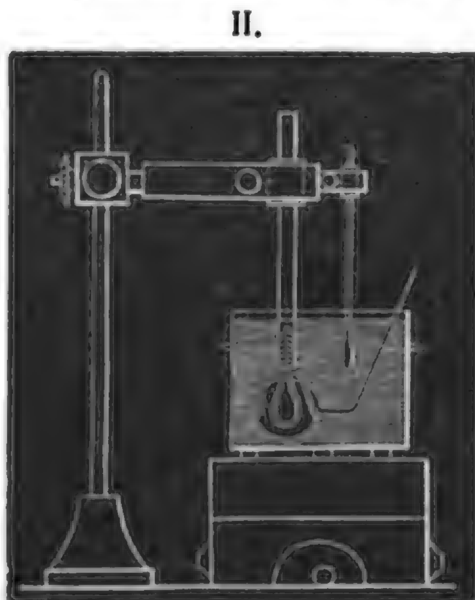
**) Handwörterbuch der Chemie Bd. I. S. 396.

man den Bauch des Ballons gelinde, treibt damit eine Portion Luft heraus, und läßt ihn wieder kalt werden, während die offene Spitze in die flüssige Substanz hineintaucht; die Stelle der ausgetriebenen Luft wird von der Flüssigkeit eingenommen. Durch Abkühlen der Kugel vermittelst aufgetröpfelten Aethers läßt sich dies jederzeit und schnell bewerkstelligen. Die Quantität der Flüssigkeit, die man eintreten läßt, richtet sich nach dem Volumen des Ballons; 5 Grm. kann man als das Minimum und 10 Grm. als das Maximum betrachten. Wenn der Körper in dem Halse und der engen Röhre wieder fest wird, so muß dieser natürlich vorher erhitzt werden. Der Ballon wird nun in ein Wasserbad, Chlorcalciumbad, Chlorzinkbad ꝛc. gebracht, und dieses auf eine Temperatur erhitzt, welche jedenfalls 30° bis 40° höher sein muß, als der Siedepunkt des flüchtigen Körpers. Das Bad kann nämlich auch schon vorher bis auf die gewünschte Temperatur erhitzt sein; man hat nie ein Springen des Ballons zu befürchten. Ein sehr genaues Thermometer zeigt seine Temperatur an. Der Kolben kann in dem Bade auf die mannichfaltigste Weise festgehalten werden. Fig. I. zeigt eine solche Vorrichtung. Fig. II. ist der Halter des Ballons. Sobald die Temperatur des Bades einige Grade über den Siedepunkt des Körpers gestiegen ist, entwickelt sich aus der offenen Spitze ein Strom seines Dampfes; er nimmt nach und nach ab, und nach 15 bis 20 Minuten wird eine Flamme, in die Nähe der offenen Spitze gebracht, nicht im mindesten mehr bewegt. Sieht man, daß sich an der offenen Spitze, so weit sie sich außerhalb des Bades befindet, kleine Tropfen der Flüssigkeit verdichten, so müssen diese jetzt entfernt werden. Man nähert derselben eine glühende Kohle, worauf die Spitze sogleich davon entleert wird; vermittelst eines Löthrohres und einer in die Nähe gebrachten Spirituslampe wird nun die Spitze rasch erweicht; sie schmilzt leicht und vollkommen zu. Das eiserne Gefäß des Bades wird nun vom Feuer entfernt, man nimmt den zugeschmolzenen Kolben aus dem Bade heraus, wäscht und trocknet ihn vollkommen ab, und nimmt mit der erwähnten Vorsicht sein Gewicht. Der Dampf der Substanz hat alle atmosphärische Luft bis auf eine kleine Quantität, die man bestimmen muß, ausgetrieben; das Volumen des Dampfes muß ebenfalls ausgemittelt werden. Zu diesem Zwecke taucht man die Spitze des Ballons der ganzen Länge nach unter Quecksilber, macht mit der Feile einen Einschnitt nahe am Halse, und bricht die Spitze ab. Der luftleere Raum, welcher nach der Verdichtung des Dampfes bei gewöhnlicher Temperatur entstanden ist, wird nun durch Quecksilber ausgefüllt; es bleibt hierbei meistens eine kleine Luftblase zurück; sehr oft füllt er sich gänzlich an. Das Volumen des Quecksilbers ist gleich dem Volumen des Dampfes in der hohen Temperatur, bei welcher der Kolben verschlossen wurde. Zur Bestimmung desselben leert man nun das Quecksilber in eine graduirte Röhre aus, und bemerkt sich die Anzahl der Cubikcenti-

I.



II.



meter, die das Quecksilber einnimmt. Man füllt nun das Gefäß gänzlich mit Wasser an und mißt das Volumen des Wassers; es beträgt meistens 1 bis 2 Cubikcentimeter mehr, als das Volumen des Quecksilbers. Indem man beide von einander abzieht, hat man das Volumen der zurückgebliebenen Luftblase. Aus den erhaltenen Resultaten läßt sich nun das specifische Gewicht des Dampfes berechnen.

Das folgende Beispiel wird diese Rechnungen versinnlichen. Bestimmung des specifischen Gewichts des Kohlensäure-Aethers. Siedepunkt 125°,5 C. Der Ballon wog mit trockener Luft gefüllt 47,770 Grm., die Temperatur der Luft war 18°,6, der Barometerstand 331''',8. Nach Beendigung des Versuches faßte die Kugel, mit Wasser ausgemessen, 290 Cubikcentimeter = dem Volumen der darin enthaltenen Luft. 290 Cubikcentimeter Luft bei 18°,6 und 331''',8 geben bei 0° und 336''' B. 267,7 Cubikcentimeter. Da nun 1000 Cubikcentimeter Luft bei 0° und 336 B. 1,299075 Grm. wiegen, so ist das Gewicht der 267,7 Cubikcentimeter Luft = 0,34776 Grm. Zieht man von dem Gewicht des mit Luft erfüllten Ballons das Gewicht der Luft ab, 47,770 — 0,34776, so bleiben für das Gewicht der leeren Kugel 47,42224 Grm. Die Kugel wurde in einem Chlorzinkbade erhitzt, die Oeffnung bei 150° C. und 331''',8 B. zugeschmolzen; ihr Gewicht betrug 48,431 Grm. Das in die Kugel eingetretene Quecksilber betrug 289,5 Cubikcentimeter (Temperatur des Quecksilbers: 18°,6 C.; Barometerstand: 332'''). Zieht man das Gewicht der leeren Kugel von der mit Dampf erfüllten ab, so bleiben für das Gewicht des Aetherdampfes 1,00876 Grm. Nimmt man an, das Volumen habe bei 150° und 331''',8 B. 289,5 Cubikcentimeter betragen, so nehmen diese bei 0° und 336''' Druck 182,98 Cubikcentimeter ein. Dieses Volumen Aetherdampf wiegt nun 1,100876 Grm., 1000 Cubikcentimeter wiegen mithin 5,5129 Grm. Das specifische Gewicht des Kohlensäure-Aetherdampfes ist demnach $\frac{5,5129}{1,299075} = 4,243$. Diese Bestimmung (bemerkt Liebig) ist wohl hinreichend genau für die Controle der Analyse des Kohlensäure-Aethers, aber die Berechnung kann unter Umständen ein fehlerhaftes Resultat geben, wenn man nicht auf den Umstand Rücksicht nimmt, daß das durch das eingetretene Quecksilber gemessene Volumen des Dampfes weniger beträgt, als der Inhalt der Glaskugel; zieht man nämlich beide von einander ab, 290 — 289,5, so bleibt 0,5 Cubikcentimeter Luft, welche mit den 289,5 Cubikcentimetern die Kugel ausgefüllt hatte. Diese Luft ist aber mitgewogen worden; das wahre Gewicht des Dampfes erhält man mithin, wenn man von 1,00876 das Gewicht von 0,5 Cubikcentimeter Luft, auf 0° C. und 336''' B. reducirt, nämlich 0,00062 abzieht; es ist mithin 1,008135 Grm. Das Volumen des Quecksilbers, was in die Kugel eingetreten ist, drückt ebenfalls nicht genau das Volumen des Dampfes bei 150° aus, denn die 0,5 Cubikcentimeter von Luft dehnten sich bei 150° um 0,23 Cubikcentimeter aus; ihr Volumen betrug bei dieser Temperatur 0,73 Cubikcentimeter, das Volumen des Dampfes ist also um 0,23 Cubikcentimeter zu groß angenommen; das wahre ist 289,5 — 0,23 = 289,27 Cubikcentimeter. Man sieht leicht ein, daß diese Correctionen das gefundene specifische Gewicht kaum merklich ändern. Beträgt aber der Luftrückstand über 2 Cubikcentimeter, so muß er auf die oben angegebene Weise in Rechnung genommen werden. Das so eben beschriebene Verfahren zur Bestimmung des specifischen Gewichts des Dampfes (sagt

Liebig) ist keiner absoluten Genauigkeit fähig; die Volumina, welche man mißt und wiegt, sind zu klein, und wendet man große Kugeln an, so verliert der Apparat an seiner Einfachheit und Bequemlichkeit in seiner Handhabung; er verlangt alsdann große, vollkommen gearbeitete Waagen. Alles dieses ist für den Zweck, den man erreichen will, nicht nöthig; es reicht hin, wenn die beiden ersten Decimalstellen mit dem theoretisch berechneten specifischen Gewichte übereinstimmen; auf die Richtigkeit der dritten kann man unter keinerlei Umständen zählen. Es ist aus diesem Grunde überflüssig, die Ausdehnung des Glases und eine Correction des Quecksilberthermometers in Rechnung zu nehmen. Die unbedeutenden Aenderungen, welche diese Correctionen in dem gefundenen Resultate zu Wege bringen, wird man aus der Bestimmung des specifischen Gewichtes des Kampherdampfes von dem Erfinder der Methode entnehmen. Ueberschuß des Gewichts des mit Luft und Kampherdampf gefüllten Ballons bei 13,5° und 0,742 Met. = 0,708 Grm. Temperatur des Dampfes = 244°. Volumen des Ballons = 295 Kubikcentimeter. Das Gewicht der in dem Ballon enthaltenen Luft betrug bei 0° und 0,760 Met. 0,3559 Grm. 0,708 + 0,3559 = 1,0639 Grm. ist also das Gewicht des Dampfes. Nimmt man an, das Volumen des Dampfes habe bei 244° ebenfalls 295 Cubikcentimeter betragen, und nimmt man auf die größere Ausdehnung des Quecksilbers in der hohen Temperatur keine Rücksicht, so erhält man für das specifische Gewicht des Dampfes die Zahl 5,356; 244° des Quecksilberthermometers entsprechen aber nur 239° des Luftthermometers. Für jeden Grad des Luftthermometers dehnt sich ferner das Glas um $\frac{1}{35000}$ seines Volumens bei 0° C. aus. Das Volumen des Dampfes bei 239° und 0,742 Meter Druck ist demnach:

$$295 + \frac{295 \times 239}{35000} = 297 \text{ Cubikcentimeter.}$$

Auf 0° C. und 0,760 Met. reducirt, beträgt sein Volumen 153,5 Cubikcentimeter, woraus sich das specifische Gewicht des Dampfes zu 5,337 berechnet. Die Unterschiede zweier Versuche sind aber unter allen Umständen größer, als der Unterschied des corrigirten specifischen Gewichts von dem nicht corrigirten, so daß man sich mithin diese Berechnungen ersparen kann.

Poggendorff*) hat das Dumas'sche Verfahren näher beleuchtet und Anweisung und Tafeln zur leichteren Berechnung des specifischen Gewichtes von Dämpfen aus den Ergebnissen der Beobachtung veröffentlicht, die wir hier folgen lassen. Die Operationen, sagt Poggendorff, kommen auf vier zurück.

1) Man wägt ein zu einer feinen Spitze ausgezogenes Glasgefäß, luftvoll und offen, bei einem Barometerstand = b und einer Temperatur = t.

2) Man wägt dasselbe Gefäß, nachdem man es durch Einbringung der zu verdampfenden Substanz und durch zweckmäßige Erhitzung möglichst von der Luft geleert, dafür mit dem zu bestimmenden Dampf gefüllt und seine Spitze beim Barometerstande = b' und der hohen Temperatur = t' zugeschmolzen hat. Diese Wägung, welche bei einem Barometerstande = b'' und einer Temperatur = t'' ausgeführt sein mag, ergiebt, gegen die erstere, einen Gewichtsüberschuß oder

*) Pogg. Ann. Bd. XXXXI. S. 449. Bd. XXXXVI. S. 336. Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie. Bd. II. 461.

allgemein, da der Dampf auch specifisch leichter als die Luft sein kann, einen Gewichtsunterschied = ± P Grammen.

3) Man öffnet die Spitze des Gefäßes unter Quecksilber oder Wasser und bestimmt die Menge der eintretenden Flüssigkeit, messend oder wägend. Dabei wird nur der Dampf condensirt (angenommen vollständig); von der beigemengten Luft bleibt ein Volumen v zurück, das sich unter dem Druck = b‴ und der Temperatur = t‴ befinden mag. Mißt man die Flüssigkeit, so sei ihr Volumen in Cubikcentimetern = V — v; wägt man sie, sei ihr Gewicht in Grammen = Q.

4) Man füllt das Gefäß ganz mit der Flüssigkeit, ebenfalls bei b‴ und t‴; ihr Volumen sei = V Cubikcentimeter oder ihr Gewicht = R Gramm.

Aus R und R — Q ergeben sich V und v und somit hat man alle Data, welche, außer einigen bekannten Zahlenwerthen, zur Bestimmung des specifischen Gewichtes des erzeugten Dampfes erforderlich sind. Abgesehen dabei ist einerseits von dem geringen Volumen der aus dem gasigen in den flüssigen oder starren Zustand zurückgetretenen Substanz, so wie andererseits von der noch geringeren Menge der bei b‴ und t‴ etwa dampfförmig gebliebenen (was natürlich eine bedeutende Schwerflüchtigkeit der Substanz voraussetzt), so wie endlich auch von der Spannung des Wasserdampfes, im Fall man zu der dritten Operation Wasser angewendet hätte.

Um aus obigen Daten die Dichtigkeit zu berechnen, kann angenommen werden, daß die vier Barometerstände b, b′, b″, b‴, einander gleich seien, und daß auch von drei der vier Temperaturen, nämlich von t, t″, t‴, dasselbe gelte. Diese Vereinfachung ist erlaubt, einerseits weil die Zeit zwischen den Ablesungen von b′ und b″ nicht gar groß ist, und andererseits, weil eine kleine Verschiedenheit zwischen b und b‴ keinen bedeutenden Einfluß auf die Resultate ausübt. Aus gleichem Grunde können t″ und t‴ als gleich mit t angenommen werden, sofern man nur bei dem Versuche dafür sorgt, daß sie wenigstens nicht bedeutend verschieden sind.

Dies vorausgesetzt kommen bei der Rechnung folgende Größen in Betracht:

Gewicht eines Cubikcentimeters in Grammen	beim Barometerstand = b Temper. = t.	Temper. = t′
des reinen Dampfes . . .	σ	σ′
der Luft.	s	s′
des lufthaltigen Dampfes . .	S	S′
Volumen in Cubikcentimetern		
des Dampfes	w	w′
der beigemengten Luft . . .	v	v′
des Glasgefäßes	V	V′

Ausdehnungscoefficient der Luft und des Dampfes (in der bisherigen Annahme, daß er für beide gleich, und vom Druck, von der Dichte und Temperatur unabhängig sei *) = α. — Ausdehnungscoefficient des Glases (in der Voraussetzung seiner Unabhängigkeit von der Temperatur) = δ.

*) Eine Annahme, welche nach den neueren Untersuchungen nicht streng richtig ist. Vergl. den Art. Ausdehnung. Bd. I. S. 620. ff.

Nach diesen Bezeichnungen und Voraussetzungen ist nun:

$\frac{S}{s}$ das specifische Gewicht des lufthaltigen Dampfes,

$\frac{\sigma}{s}$ das specifische Gewicht des reinen Dampfes,

beides gegen das der Luft = 1, und zwar nicht bloß für den Barometerstand b und die Temperatur t, sondern auch (wie wenigstens bisher angenommen wurde) für jeden Barometerstand und jede Temperatur, sobald diese beiden Elemente gleich sind, beim Dampf und bei der Luft.

Zuvörderst ist $\frac{S}{s}$ oder das specifische Gewicht des lufthaltigen Dampfes zu bestimmen. Dazu hat man die beiden Relationen: $\pm P = V' S' - Vs$; $S' : S = s' : s$ und daraus sogleich:

$$\frac{S}{s} = \frac{Vs \pm P}{V' s'} \quad . \; . \; . \; (1)$$

worin rechter Hand alle Größen bekannt sind, da Vs das Gewicht der das Gefäß bei der Temperatur t füllenden Luft ist, und da im Allgemeinen, wenn die Ausdehnung des Glases, wie die der Luft der Temperatur proportional angenommen wird,

$$V' = V \frac{(1 + \delta t')}{(1 + \delta t)}; \; s' = s \frac{(1 + \alpha t)}{(1 + \alpha t')}$$

Sobald der Dampf keine Luft beigemengt enthält, giebt die Gleichung (1) seine Dichtigkeit genau; auch kann man für die gewöhnlichen Fälle bei dieser Gleichung schon stehen bleiben, sobald die Beimengung nicht mehr als $1/3$ bis $1/4$ Procent beträgt. Ist aber die Beimengung an Luft größer, so hat man $\frac{\sigma}{s}$ zu berechnen. Dies geschieht folgendermaßen. Da die Producte aus den Dichten in die Volume gleich sind den Gewichten, so hat man offenbar $\sigma' w' + s' v' = S' V'$ und da, der bisherigen Annahme folgend, $\sigma' : \sigma = \sigma' : s = S' : S$, auch $\sigma w' + s v' = S V'$, so wie überdies $w' + v' = V'$. Mithin ist

$$\frac{\sigma}{s} = \frac{S}{s} + \left(\frac{S}{s} - 1\right)\frac{v'}{w'} \quad . \; . \; . \; (2)$$

worin

$$v' = v \frac{(1 + \alpha t')}{(1 + \alpha t)} \text{ und } w' = V \frac{(1 + \delta t')}{(1 + \delta t)} - v \frac{(1 + \alpha t')}{(1 + \alpha t)}.$$

Die Gleichung (2) ist der strenge Ausdruck für das specifische Gewicht des reinen Dampfes, der in Wirklichkeit Luft beigemengt enthielt.

Da die nach der Dumas'schen Methode für die Zwecke der Chemie unternommenen Bestimmungen meistens nicht mit der höchsten Schärfe ausgeführt werden, so kann man sich in der Rechnung verschiedene Vereinfachungen erlauben, durch welche sie bedeutend abgekürzt wird. So kann man in der Gleichung (2) die Größe v' durch v, und w durch V — v ersetzen. Dann hat man einfach

$$\frac{\sigma}{s} = \frac{S}{s} + \left(\frac{S}{s} - 1\right)\frac{v}{V - v} \quad . \; . \; . \; (3)$$

oder, noch einfacher und selbst genauer, wenn man die zu subtrahirende Größe $\frac{v}{V-v}$ vernachlässigt:

$$\frac{\sigma}{s} = \frac{S}{s} \cdot \frac{V}{V-v}$$

oder, aus Gleichung (1) für $\frac{S}{s}$ seinen Werth gesetzt:

$$\frac{\sigma}{s} = \frac{Vs \pm P}{V' s'} \cdot \frac{V}{V-v} \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Setzt man hierin $V' = V$, d. h. vernachlässigt die Berichtigung für die Ausdehnung des Gases, so kommt

$$\frac{\sigma}{s} = \frac{s}{s'} \cdot \frac{Vs \pm P}{(V-v)s} \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Da indeß V' in Wahrheit größer ist als V, so giebt der letzte Ausdruck das specifische Gewicht des Dampfes immer etwas zu groß. Wenn also das dem Dampfe beigemengte Luftvolumen nicht sehr bedeutend ist, kann man sich erlauben zu setzen

$$\frac{\sigma}{s} = \frac{s}{s'} \cdot \frac{(V-v)s \pm P}{(V-v)s} \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Da der Unterschied zwischen den Ausdrücken (5) und (6) nur $\frac{s}{s'} \cdot \frac{v}{V-v}$ beträgt, und, als das specifische Gewicht des Dampfes vermindernd, das Resultat sogar genauer macht.

Die numerische Rechnung nach diesen Formeln läßt sich am besten mittelst Logarithmen ausführen. Wir wollen sie durch zwei Beispiele erläutern, eins nach der Formel (4) und das andere nach der Formel (6).

Setzt man in der Formel (4) für V' und s' ihre früher angegebenen Werthe und erlaubt sich, was wegen der Kleinheit von δ zu erlauben ist, $\frac{1}{1+\delta(t'-t)}$ statt $\frac{1+\delta t}{1+\delta t'}$ zu schreiben, so wird dieselbe:

$$\frac{\sigma}{s} = \frac{V}{V-w} \cdot \frac{1}{1+\delta(t'-t)} \cdot \frac{1+\alpha t'}{1+\alpha t} \cdot \left(1 \pm \frac{P}{Vs}\right).$$

Nun sei beobachtet:

$P = + 0{,}273$ Grm. . . . $b = 753^{m}{,}65$ bei 0^{0}
$V = 269{,}0$ Cubikcent. . . . $t = 21^{0}{,}25$ C.
$v = 3{,}0$ „ . . . $t' = 200{,}0$

Dann ist die Rechnung folgende:

	Log V	= 2,42975
—	Log (V — v)	= 2,42388
		0,00487
—	Log (1 + δ [t' — t])	= 0,00210
		0,00277

		0,00277
$+$ Log $(1 + \alpha t')$	=	0,23805
		0,24082
$-$ Log $(1 + \alpha t)$	=	0,03243
		0,20839 . . . Zahl = 1,6158
$+$ Log P	=	0,43616 — 1
		0,64455 — 1
$-$ Log V	=	2,42975
		0,21480 — 3
$-$ Log s	=	0,07824 — 3
		0,13656 . . . Zahl = 1,3695

$\frac{\sigma}{s}$ oder specifisches Gewicht des reinen Dampfes = 2,9853

Nach der Formel (6), welche, wenn man darin für s' seinen Werth setzt, wird:

$$\frac{\sigma}{s} = \left(\frac{1 + \alpha t'}{1 + \alpha t}\right)\left(\frac{(V - v)\, s \pm P}{(V - v)\, s}\right)$$

giebt dasselbe Beispiel zu folgender Rechnung Anlaß:

Log $(1 + \alpha t')$	=	0,23805
$-$ Log $(1 + \alpha t)$	=	0,03243
		0,20562 . . . Zahl = 1,6055
$+$ Log P	=	0,43616 — 1
		0,64178 — 1
$-$ Log $(V - v)$	=	2,42488
		0,21690 — 3
$-$ Log s	=	0,13866 . . . Zahl = 1,3761

$\frac{\sigma}{s}$ oder specifisches Gewicht des reinen Dampfes = 2,9816

Die strenge Formel (2) giebt für dies Beispiel das specifische Gewicht des Dampfes = 2,9872, ein nur wenig von den obigen abweichendes Resultat. Man kann daher, wo es nicht auf die höchste Genauigkeit ankommt, wie es meistens für die chemischen Zwecke der Fall ist, sich entweder der Formel (4) oder noch kürzer der Formel (6) bedienen.

Um aus dem gefundenen specifischen Gewicht des Dampfes das absolute Gewicht σ_0 von einem Cubikcentimeter desselben unter dem Druck $0^m,76$ und bei der Temperatur 0^0 zu finden (was indeß ein rein idealer Zustand ist, da der Dampf unter diesen Umständen nicht existiren kann, und auch, wenn es der Fall wäre, eine andere Rechnung erfordern würde), hat man es zu multipliciren mit dem Gewicht s_0 eines Cubikcentimeters reiner Luft unter denselben Umständen, ein Gewicht, dessen Logarithmus ist = 0,11363 — 3. So findet man:

	nach Formel (4)	nach Formel (6)
Log $\frac{\sigma}{s}$	= 0,47499	= 0,47445
Log s_0	= 0,11363 — 3	= 0,11363 — 3
	0,58862 — 3	0,58808 — 3
also s_0	= 0,0038782 Grm.	= 0,0038733 Grm.

Hätte man die Volumen V u. V — v nicht gemessen, sondern statt dessen die Gewichte R und Q bestimmt, so findet man erstere durch die Gleichungen $q\,V\,s = R$; $q\,(V - v)\,s = Q$, worin $q = c.\,\frac{1 + \alpha t}{1 + f(t)} \cdot \frac{760}{b}$.

q ist das relative specifische Gewicht der zur Ausmessung angewandten Flüssigkeit gegen Luft, d. h. das Gewicht z. B. eines Cubikcentimeters dieser Flüssigkeit von der Temperatur t, gewogen in Luft beim Barometerstand b und bei der Temperatur t, dividirt durch das Gewicht eines Cubikcentimeters solcher Luft; ferner ist c das absolute specifische Gewicht jener Flüssigkeit, d. h. das Gewicht eines Cubikcentimeters der Flüssigkeit bei 0°, gewogen im luftleeren Raum, dividirt durch das Gewicht eines Cubikcentimeters Luft bei $0^m,76$ und 0°. Endlich ist $(1 + f[t])$ das Volumen eines constanten Gewichts der Flüssigkeit bei der Temperatur t, wenn es bei 0° gleich Eins gesetzt wird. Da c und $1 + f(t)$ für Quecksilber und Wasser durch Versuche ermittelt sind, so kann q und dann V nebst V — v nach vorstehenden Formeln berechnet werden.

Zur Berechnung des specifischen Gewichtes des Dampfes nach den Formeln (2) und (4) braucht man indeß die Volumen V und V — v, wenn man sie nicht gemessen hat, auch nicht zu berechnen, da in diese Formeln nur das Verhältniß beider Volumen eintritt und dieses Verhältniß, wie aus der vorletzten Gleichung zu ersehen, gleich ist dem Verhältniß der Gewichte R und Q. Die Kenntniß von q ist nur nöthig für das Product Vs (das Gewicht der Luft, welches das Gefäß bei b Barometerstand und t Temperatur einnimmt), und dieses ist gleich R dividirt durch q.

Nach der Formel (4) wird dann die Rechnung:

$$\text{Log } R - \text{Log } Q - \text{Log } [1 + \delta (t' - t)] + \text{Log } (1 + \alpha t') - \text{Log } (1 + \alpha t) \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. = \text{Log } A$$

$$\text{Log } A + \text{Log } P - \text{Log } R + \text{Log } q \;. = \text{Log } B$$

$$\frac{\sigma}{s} = A + B.$$

Alle die obigen Rechnungen werden durch ein paar Hülfstafeln außerordentlich erleichtert, die wir hier folgen lassen.

Tafel I. Logarithmen von s oder $s_0\,(1 + \alpha t)$, d. h. dem Gewicht eines Cubikcentimeters Luft in Gramm. bei $b = 760^{mm},0$ und verschiedenen Temperaturen t.

Diese Tafel dient zugleich für die $\log\,(1 + \alpha t)$, da nur immer das Verhältniß zweier solcher Logarithmen gebraucht wird, und dabei s_0 herausfällt. Für α ist der Rudberg'sche Werth *) $= 0{,}00365$ beibehalten (obwohl er nach Magnus und Regnault bis 100° etwas zu gering sein würde), weil es einige Wahrscheinlichkeit hat, daß er in höheren Temperaturen für Luft der richtigere ist, und weil überhaupt für α kein allgemeiner Werth mehr mit voller Genauigkeit aufgestellt werden kann.

---

*) Vergl. den Artikel Ausdehnung. Bd. I. S. 620.

t	log. s_0 (1 + α t)	diff.	t	log. s_0 (1 + α t)	diff.
0	0,11363 — 3		40	0,05445 — 3	138
1	0,11205 — 3	158	41	0,05307 — 3	138
2	0,11048 — 3	157	42	0,05169 — 3	138
3	0,10890 — 3	158	43	0,05032 — 3	137
4	0,10734 — 3	156	44	0,04895 — 3	137
5	0,10578 — 3	156	45	0,04758 — 3	137
6	0,10423 — 3	155	46	0,04622 — 3	136
7	0,10268 — 3	155	47	0,04487 — 3	135
8	0,10113 — 3	155	48	0,04352 — 3	135
9	0,09963 — 3	153	49	0,04217 — 3	135
10	0,09807 — 3	153	50	0,04083 — 3	134
11	0,09654 — 3	153	51	0,03949 — 3	134
12	0,09502 — 3	152	52	0,03816 — 3	133
13	0,09350 — 3	152	53	0,03683 — 3	133
14	0,09199 — 3	151	54	0,03550 — 3	133
15	0,09048 — 3	151	55	0,03418 — 3	132
16	0,08898 — 3	150	56	0,03286 — 3	132
17	0,08749 — 3	149	57	0,03154 — 3	132
18	0,08600 — 3	149	58	0,03023 — 3	131
19	0,08451 — 3	149	59	0,02893 — 3	130
20	0,08303 — 3	148	60	0,02763 — 3	130
21	0,08156 — 3	147	61	0,02633 — 3	130
22	0,08009 — 3	147	62	0,02503 — 3	130
23	0,07863 — 3	146	63	0,02374 — 3	129
24	0,07717 — 3	146	64	0,02246 — 3	128
25	0,07571 — 3	146	65	0,02117 — 3	129
26	0,07426 — 3	145	66	0,01989 — 3	128
27	0,07281 — 3	145	67	0,01862 — 3	129
28	0,07137 — 3	144	68	0,01735 — 3	127
29	0,06994 — 3	143	69	0,01608 — 3	127
30	0,06850 — 3	143	70	0,01481 — 3	127
31	0,06708 — 3	142	71	0,01355 — 3	126
32	0,06565 — 3	143	72	0,01230 — 3	125
33	0,06424 — 3	141	73	0,01104 — 3	126
34	0,06283 — 3	141	74	0,00979 — 3	125
35	0,06141 — 3	142	75	0,00855 — 3	124
36	0,06001 — 3	140	76	0,00730 — 3	125
37	0,05861 — 3	140	77	0,00606 — 3	124
38	0,05722 — 3	139	78	0,00483 — 3	123
39	0,05583 — 3	139	79	0,00360 — 3	123

t	log. s_0 $(1 + \alpha\, t)$	diff.	t	log. s_0 $(1 + \alpha\, t)$	diff.
80	0,00237 — 3	123	120	0,95587 — 4	110
81	0,00114 — 3	123	121	0,95477 — 4	110
82	0,99992 — 4	122	122	0,95367 — 4	110
83	0,99870 — 4	122	123	0,95258 — 4	109
84	0,99749 — 4	121	124	0,95148 — 4	110
85	0,99628 — 4	121	125	0,95039 — 4	109
86	0,99507 — 4	121	126	0,94931 — 4	108
87	0,99386 — 4	121	127	0,94822 — 4	109
88	0,99266 — 4	120	128	0,94714 — 4	108
89	0,99146 — 4	120	129	0,94606 — 4	108
90	0,99027 — 4	119	130	0,94499 — 4	107
91	0,98908 — 4	119	131	0,94391 — 4	108
92	0,98789 — 4	119	132	0,94284 — 4	107
93	0,98670 — 4	119	133	0,94177 — 4	107
94	0,98552 — 4	118	134	0,94071 — 4	106
95	0,98434 — 4	118	135	0,93964 — 4	107
96	0,98317 — 4	117	136	0,93858 — 4	106
97	0,98200 — 4	117	137	0,93752 — 4	106
98	0,98083 — 4	117	138	0,93647 — 4	105
99	0,97966 — 4	117	139	0,93542 — 4	105
100	0,97850 — 4	116	140	0,93437 — 4	105
101	0,97734 — 4	116	141	0,93332 — 4	105
102	0,97618 — 4	116	142	0,93227 — 4	105
103	0,97503 — 4	115	143	0,93123 — 4	104
104	0,97388 — 4	115	144	0,93019 — 4	104
105	0,97273 — 4	115	145	0,92915 — 4	104
106	0,97158 — 4	115	146	0,92812 — 4	103
107	0,97044 — 4	114	147	0,92708 — 4	104
108	0,96950 — 4	114	148	0,92605 — 4	103
109	0,96817 — 4	113	149	0,92502 — 4	103
110	0,96704 — 4	113	150	0,92400 — 4	102
111	0,96591 — 4	113	151	0,92298 — 4	102
112	0,96478 — 4	113	152	0,92196 — 4	102
113	0,96366 — 4	112	153	0,92094 — 4	102
114	0,96254 — 4	112	154	0,91992 — 4	102
115	0,96142 — 4	112	155	0,91891 — 4	101
116	0,96030 — 4	112	156	0,91790 — 4	101
117	0,95919 — 4	111	157	0,91689 — 4	101
118	0,95808 — 4	111	158	0,91588 — 4	101
119	0,95697 — 4	111	159	0,91488 — 4	100

t	log. s_0 $(1 + \alpha\, t)$	diff.	t	log. s_0 $(1 + \alpha\, t)$	diff.
160	0,91388 — 4	100	200	0,87558 — 4	92
161	0,91288 — 4	100	201	0,87467 — 4	91
162	0,91188 — 4	100	202	0,87376 — 4	91
163	0,91088 — 4	100	203	0,87284 — 4	92
164	0,90989 — 4	99	204	0,87193 — 4	91
165	0,90890 — 4	99	205	0,87103 — 4	90
166	0,90791 — 4	99	206	0,87012 — 4	91
167	0,90693 — 4	98	207	0,86922 — 4	90
168	0,90594 — 4	99	208	0,86831 — 4	91
169	0,90496 — 4	98	209	0,86741 — 4	90
170	0,90398 — 4	98	210	0,86652 — 4	89
171	0,90300 — 4	98	211	0,86562 — 4	90
172	0,90203 — 4	97	212	0,86473 — 4	89
173	0,90106 — 4	97	213	0,86383 — 4	90
174	0,90009 — 4	97	214	0,86294 — 4	89
175	0,89912 — 4	97	215	0,86205 — 4	89
176	0,89815 — 4	97	216	0,86117 — 4	88
177	0,89719 — 4	96	217	0,86028 — 4	89
178	0,89623 — 4	96	218	0,85940 — 4	88
179	0,89527 — 4	96	219	0,85851 — 4	89
180	0,89431 — 4	96	220	0,85763 — 4	88
181	0,89335 — 4	96	221	0,85676 — 4	87
182	0,89240 — 4	95	222	0,85588 — 4	88
183	0,89145 — 4	95	223	0,85500 — 4	88
184	0,89050 — 4	95	224	0,85413 — 4	87
185	0,88955 — 4	95	225	0,85326 — 4	87
186	0,88861 — 4	94	226	0,85239 — 4	87
187	0,88766 — 4	95	227	0,85152 — 4	87
188	0,88672 — 4	94	228	0,85066 — 4	86
189	0,88578 — 4	94	229	0,84979 — 4	87
190	0,88484 — 4	94	230	0,84893 — 4	86
191	0,88391 — 4	93	231	0,84807 — 4	86
192	0,88298 — 4	93	232	0,84721 — 4	86
193	0,88205 — 4	93	233	0,84636 — 4	85
194	0,88112 — 4	93	234	0,84550 — 4	86
195	0,88019 — 4	93	235	0,84464 — 4	86
196	0,87926 — 4	93	236	0,84379 — 4	85
197	0,87834 — 4	92	237	0,84294 — 4	85
198	0,87742 — 4	92	238	0,84209 — 4	85
199	0,87650 — 4	92	239	0,84124 — 4	85

t	log. $s_0 (1 + \alpha t)$	diff.	t	log. $s_0 (1 + \alpha t)$	diff.
240	0,84040 — 4	84	270	0,81576 — 4	80
241	0,83955 — 4	85	271	0,81496 — 4	80
242	0,83871 — 4	84	272	0,81417 — 4	79
243	0,83787 — 4	84	273	0,81337 — 4	80
244	0,83703 — 4	84	274	0,81258 — 4	79
245	0,83619 — 4	84	275	0,81179 — 4	79
246	0,83536 — 4	83	276	0,81100 — 4	79
247	0,83452 — 4	84	277	0,81021 — 4	79
248	0,83369 — 4	83	278	0,80942 — 4	79
249	0,83286 — 4	83	279	0,80863 — 4	79
250	0,83203 — 4	83	280	0,80785 — 4	78
251	0,83120 — 4	83	281	0,80707 — 4	78
252	0,83037 — 4	83	282	0,80628 — 4	79
253	0,82955 — 4	82	283	0,80550 — 4	78
254	0,82873 — 4	82	284	0,80472 — 4	78
255	0,82790 — 4	83	285	0,80395 — 4	77
256	0,82708 — 4	82	286	0,80317 — 4	78
257	0,82626 — 4	82	287	0,80240 — 4	77
258	0,82545 — 4	81	288	0,80162 — 4	78
259	0,82463 — 4	82	289	0,80085 — 4	77
260	0,82382 — 4	81	290	0,80008 — 4	77
261	0,82301 — 4	81	291	0,79931 — 4	77
262	0,82219 — 4	82	292	0,79854 — 4	77
263	0,82138 — 4	81	293	0,79777 — 4	77
264	0,82058 — 4	80	294	0,79701 — 4	76
265	0,81977 — 4	81	295	0,79625 — 4	76
266	0,81897 — 4	80	296	0,79548 — 4	77
267	0,81816 — 4	81	297	0,79472 — 4	76
268	0,81736 — 4	80	298	0,79396 — 4	76
269	0,81656 — 4	80	299	0,79320 — 4	76

Tafel II. Berichtigung zu s in Tafel I. wegen b.

Millimeter	Ueber 760mm,0 additiv unter 760mm,0 subtractiv	Millimeter	Ueber 760mm,0 additiv unter 760mm,0 subtractiv
1	0,00057	6	0,00342
2	0,00114	7	0,00399
3	0,00171	8	0,00456
4	0,00228	9	0,00513
5	0,00285		

Tafel III. Berichtigung wegen Ausdehnung des Gases.

$t' - t$	log. $[1 + \delta (t' - t)]$	$t' - t$	log. $[1 + \delta (t' - t)]$
100° C.	0,00117	210° C.	0,00246
110	0,00129	220	0,00257
120	0,00140	230	0,00269
130	0,00152	240	0,00281
140	0,00164	250	0,00293
150	0,00176	260	0,00304
160	0,00187	270	0,00316
170	0,00199	280	0,00328
180	0,00211	290	0,00339
190	0,00222	300	0,00381
200	0,00234		

Tafel IV. Wassergewicht dividirt durch Luftgewicht = q.

t° C.	log. q $b = 760^{mm},0$	diff.	t° C.	log. q $b = 760^{mm},0$	diff.
0	2,88576		15	2,90862	145
1	2,88736	160	16	2,91006	144
2	2,88896	160	17	2,91149	143
3	2,89054	158	18	2,91290	141
4	2,89211	157	19	2,91430	140
5	2,89366	155	20	2,91570	140
6	2,89521	155	21	2,91708	138
7	2,89675	154	22	2,91845	137
8	2,89827	152	23	2,91983	138
9	2,89978	151	24	2,92119	136
10	2,90128	150	25	2,92253	134
11	2,90277	149	26	2,92387	134
12	2,90425	148	27	2,92520	133
13	2,90571	146	28	2,92653	133
14	2,90717	146	29	2,92785	132

Die Berichtigung, welche erfordert wird, wenn b nicht 760 Millim. ist, findet sich in Tafel II.; nur ist sie für b über 760 Millim. subtractiv und für b unter 760 Millim. additiv.

Unter den früheren Versuchen über die Dichtigkeit des Wasserdampfes und einiger anderer Dämpfe verdienen noch einer besonderen Erwähnung, die von Despretz *). In ein gemeinschaftliches Gefäß waren zwei Barometerröhren

*) Journ. de chim et de phys. T. XXI. p. 143.

(mit Quecksilber gefüllt) gesenkt, eine gewöhnliche und eine, welche eine ungewöhnliche Weite hatte, auch oben nicht zugeschmolzen, sondern nur mit Hülfe eines Hahnes geschlossen war. Auf diese zweite Barometerröhre ließ sich ein Ballon, dessen Oeffnung gleichfalls in ein mit einem Hahne verschließbares Röhrenstück ausging, aufschrauben. Der Ballon ward erst von Luft entleert und gewogen, dann auf das weite Barometerrohr aufgeschraubt. In dieses war die Flüssigkeit, deren Dampf untersucht werden sollte, gebracht (über das Quecksilber). Oeffnete man nun die Hähne des Barometerrohres und des Ballons, so erfüllte sich dieser mit Dampf. Man schloß die Hähne wieder, schraubte den Ballon ab und wog ihn. Aus dem gefundenen Gewicht wurde dann die Dichtigkeit des Wasserdampfes bestimmt. Einer besonderen Genauigkeit ist dieses Verfahren nicht wohl fähig.

Noch weniger war dieses der Fall bei den Versuchen von Southern *), welche bei höheren Temperaturen (über dem Siedepunkte des Wassers) angestellt wurden und bei denen der Dampf in einen Stiefel von bekanntem Inhalte eingelassen wurde.

Anderson **) stellte über die Dichtigkeit des Wasserdampfes in der Weise Versuche an, daß er mit Wasserdampf gesättigte Luft durch Schwefelsäure oder salzsauren Kalk strömen ließ und nachher bestimmte, welche Zunahme an Gewicht diese Substanzen durch die Aufsaugung des Wassers erfahren hatten. Er kam zu ähnlichen Bestimmungen wie Gay-Lussac.

Aehnliche Versuche stellte auch Brunner ***) an. Er brachte in eine Glasröhre Asbest und tränkte denselben mit Schwefelsäure. Die Röhre wurde sorgfältig gewogen, und dann ließ er mit Wasserdampf gesättigte Luft aus einem Gefäß von bekanntem Volumen durch dieselbe hindurchstreichen. Nachdem dies geschehen, wurde die Röhre abermals gewogen. Bei beiden Wägungen waren beide Enden der Röhre mit Korkstöpseln sorgfältig verschlossen. Aus den Resultaten dieser Wägungen berechnete Brunner die Quantität der in der Luft als Dampf enthalten gewesenen Dämpfe, und berechnete hiernach und aus der Temperatur und dem Luftdrucke während des Versuches die Dichtigkeit des Wasserdampfes. Er fand das Verhältniß der Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen atmosphärische Luft = 10 : 16,132.

Wieder aufgenommen wurden diese Versuche von Schmedding ****). Wasser, welches aus einem Gefäße in ein anderes floß, wurde durch Luft ersetzt, welche bei dem Durchgange durch ein mit einer austrocknenden Substanz gefüllten Röhre des in ihr enthaltenen Wasserdampfes beraubt wurde. Sie war vorher durch Berührung mit feuchter Watte mit Wasserdampf gesättigt worden. Die Trocknungsröhre enthielt mit concentrirter Schwefelsäure befeuchteten Asbest. — Die Gewichtszunahme dieser Röhre in Folge des aufgesogenen Wasserdampfes gab das absolute Gewicht des Wasserdampfes in einem Luftvolumen, dessen Größe durch das Gewicht des aus dem Gefäße ausgeflossenen Wassers bestimmt wurde.

---

*) Robison Mechan. Phil. T. II. p. 163.

**) Edinb. Encycl. Art. Hygrometrie. Daniell Meteorological Essays and Observations Lond. 1823. T. I. p. 159.

***) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 274.

****) De densitate vaporum. Berol. 1832. — Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 40. — Dove's Repertorium der Physik. Bd. I. S. 52.

Das Ergebniß der Versuche von Schmedding war, daß die Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Luft (= 1) bei 16° R. = 0,63 und daß diese Dichtigkeit mit der Temperatur zunimmt. Bei seiner Berechnung legte Schmedding die Bestimmung des specifischen Gewichtes der Luft gegen Wasser nach Biot und Arago, den Ausdehnungscoefficienten der Luft durch Wärme nach Gay-Lussac, die Bestimmung der Elasticität der Wasserdämpfe nach Kämtz zu Grunde.

Die Zunahme der Dichtigkeit des Wasserdampfes übersieht man aus folgender Zusammenstellung der Resultate Schmedding's

13°,44 C.	0,616	22°,50 C.	0,634
16,25	0,621	23,75	0,643
17,50	0,625	28,75	0,643
18,75	0,627	37,50	0,640
20,00	0,630	43,75	0,652
21,25	0,632		

Die Dichtigkeit des Wasserdampfes schwankte demnach zwischen den Temperaturen 13° und 44° C. von 0,616 bis 0,652. Nach der früheren Annahme braucht man nur durch einen directen Versuch die Dichtigkeit des Wasserdampfes für einen einzigen Werth der Temperatur und des Druckes zu bestimmen, um sodann nach Maßgabe des Mariotte'schen Gesetzes und der gleichförmigen Ausdehnung der expansiblen Flüssigkeiten die Dichtigkeiten dieses Dampfes für alle Verhältnisse des Druckes und der Temperatur zu berechnen. Man erhält einen theoretischen Werth für die Dichtigkeit des Wasserdampfes, wenn man auf denselben das Gay-Lussac'sche Gesetz über die Zusammensetzung der Gase anwendet. Denn es wägen

2 Volumen Wasserstoff 0,1382
1 Volumen Sauerstoff 1,1055

mithin 2 Volumen Wasserdampf 1,2437

und es wäre also die theoretische Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,62185.

Aus der so eben mitgetheilten Bemerkung, die sich aus den Beobachtungen von Schmedding ergiebt, folgerte Regnault *), daß man bedeutende Fehler begehen würde, wenn man das bei Sättigung in einem Cubikmeter Luft befindliche Gewicht von Dampf aus der eben erwähnten theoretischen Dichtigkeit mit Hülfe des Mariotte'schen Gesetzes und der gleichförmigen Ausdehnung der elastischen Flüssigkeiten berechnete.

Regnault hat sich hierdurch veranlaßt gesehen, sehr sorgfältige Versuche über die Dichte des Wasserdampfes sowohl im luftleeren Raume, als in der Luft anzustellen. Die Versuche über die Dichtigkeit des Wasserdampfes in Luft bei Sättigung stellte Regnault in der von Brunner und Schmedding befolgten Weise an, jedoch mit besonderen Vorsichtsmaßregeln. Als Resultat seiner Untersuchungen spricht Regnault aus: daß die Dichtigkeit des Wasserdampfes bei Sättigung der Luft in niederen Temperaturen nach dem Mariotte'schen Gesetze berechnet werden können und daß das Gewichtsverhältniß eines Volumens dieses

*) Compt. rend. T. XX. p. 1127 et 1220. Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 135.

Dampfes zu einem Volumen Luft bei Gleichheit der Temperatur und des Druckes etwas geringer ist, als die theoretische Dichte des Wasserdampfes.

Das Verfahren von Dumas bei Bestimmung der specifischen Gewichte gasförmiger Substanzen ist von Mitscherlich *) vervollkommnet worden, indem er bei demselben sein Luftthermometer (s. d. Art. Thermometer) anwendete, statt der Ballons in den höchsten Hitzgraden längliche an beiden Seiten fein ausgezogene Glasröhren gebrauchte und die gleichförmige Erhitzung dieser die zu untersuchenden Substanzen enthaltenden Gefäße mittelst erwärmter frei circulirender Luft bewirkte. Die Erwärmung geschah in manchen Fällen durch ein Bad von Chlorzink, welches wegen langsamer Erhitzung und geringeren specifischen Gewichtes bei Temperaturen über 110° einer Metallmischung vorzuziehen ist.

Die vollständigste Zusammenstellung der nach den beiden hauptsächlichsten Methoden (der von Gay-Lussac und der von Dumas) angestellten Versuche über Dichtigkeit verschiedener Dämpfe und überhaupt ausdehnsamer Flüssigkeiten hat Poggendorff mitgetheilt. Ich lasse dieselbe hier folgen. Zur Erläuterung der Tafel bemerkt Poggendorff **) Folgendes.

Spalte I. nennt die als Dampf oder Gas vorausgesetzten Substanzen in alphabetischer Ordnung. Verschiedene derselben sind unter mehreren Namen aufgeführt; eingeklammerte Zahlen neben denselben weisen dann auf die Synonyme hin. Die eingeklammerten Zahlen unter einigen Namen bezeichnen die Zusammensetzung der entsprechenden Substanzen aus zwei anderen; sie sind die Commentare zu den daneben stehenden Formeln in Spalte II.

Die in dieser Spalte genannten Substanzen sind von dreierlei Art:

1) Ganz hypothetisch, solche, die man bisher noch nicht mit Sicherheit hat isoliren können, wie das Fluor, oder die, wie das Acetyl, angenommen werden, um sich die Zusammensetzung anderer Substanzen zu erklären. Diese erkennt man daran, daß in den vier letzten Spalten nichts über sie bemerkt ist; natürlich sind die Angaben in den übrigen Spalten auch nur hypothetisch.

2) Wirklich dargestellt, aber noch nicht in Gasgestalt versetzt und gewogen, entweder, weil dies mit dem bis jetzt bekannten Mitteln nicht möglich war, wie bei der Kohle, oder, weil man es bisher unterlassen hat, wie beim Bromwasserstoffäther. Das Kennzeichen dieser ist die Angabe ihres Aggregatzustandes in Spalte IX., bei Leerheit der Spalten VI., VII., VIII.; begreiflicherweise sind die Angaben in den übrigen Spalten ebenfalls hypothetisch.

3) Dargestellt und in Gasgestalt gewogen; bei diesen, der Zahl nach bei weitem überwiegenden, sind alle Spalten ausgefüllt.

Spalte II. giebt die Zusammensetzung der Gase an. In einigen Fällen ist bloß die empirische Formel oder die Summe der Bestandtheile aufgeführt, in anderen die theoretische oder die Art, wie man sich die Elemente geordnet denkt, in noch anderen sowohl jene als diese, und zuweilen die letzteren nach zweierlei Ansichten. Die Symbole haben, was die durch sie bezeichneten Elemente betrifft, die gewöhnliche Bedeutung, drücken jedoch nicht Atome, sondern Volume oder Maße aus. In der Regel ist von jedem Bestandtheil unmittelbar dasjenige Vo-

*) Pogg. Ann. Bd. XXIX. S. 193. — Ann. de Chim. et Phys. T. LV. p. 1.
**) Handwörterb. der Chemie Bd. II. S. 472.

lumen angegeben, mit welchem er in Einem Volumen der Verbindung enthalten ist. Nur in einigen Fällen, z. B. Nr. 16 bis 19 sind, um die Analogie in der Zusammensetzung verschiedener Substanzen leichter überblicken zu lassen, die in Einem Volumen der Verbindung enthaltenen Volume der Bestandtheile nicht einzeln auf die kleinste Zahl gebracht, sondern ihre Summe durch einen gemeinschaftlichen Bruch multiplicirt. In solchen Fällen ist das Ganze eingeklammert. Die Bedeutung der Formeln kann übrigens keinem Mißverständnisse unterliegen. Die Zahlen hinter den Symbolen beziehen sich bloß auf die, denen sie unmittelbar angehängt sind; die vor denselben gelten für alle folgenden bis zu Ende der Formel oder wenigstens bis zum nächsten Pluszeichen.

Spalte III. zeigt die Verdichtung, ausgedrückt in ganzen Zahlen. Wenn die Formel kein Pluszeichen enthält, so bezieht sich die Verdichtung auf die Summe der letzten Bestandtheile; schließt sie dagegen ein solches Zeichen ein, so ist mit der Verdichtung die in Bezug auf die näheren Bestandtheile gemeint *). In der Regel ist die Verdichtung eine positive; sie kann indeß auch eine negative, eine Verdünnung sein, d. h. die Summe der Volume der Bestandtheile kleiner als das Volumen der Verbindung ausfallen. Einen solchen Fall stellt das Quecksilbersulfid (Zinnober) dar.

Spalte IV. sagt, wie viel von dem, was man gewöhnlich ein Atomgewicht nennt, auf ein Volum kommt. Durch die in dieser Spalte stehende ganze oder gebrochene Zahl ist der Werth der Symbole in den Formeln der Spalte II. bestimmt. Die Zahl 1 bei Kohle, Wasserstoff, Sauerstoff z. B. zeigt an, daß für diese Körper Ein Atom und Ein Volum einerlei sind, mithin die Symbole C H O ihre gewöhnliche Bedeutung haben; dagegen sagen die Zahlen 2 beim Phosphor, 3 beim Schwefel, $^1/_2$ beim Quecksilber, daß die Volume P zwei Mal, S drei Mal und Hg ein halb Mal so schwer, als die durch dieselben Symbole bezeichneten Atome sind.

Als Beispiel zum besseren Verständniß des bisher Gesagten diene der Holzgeist Nr. 149. Die danebenstehende Zahl (196) verweist auf Methyloxydhydrat als Synonym, und die Formel in Spalte II. sagt, daß in Einem Maß Holzgeistdampf enthalten sind $^1/_2$ Maß Kohlengas, 2 Maß Wasserstoffgas und $^1/_2$ Maß Sauerstoffgas, also in Summa 3 Maß Bestandtheile. Die Summe dieser ist demnach verdichtet im Verhältniß wie 3 : 1, wie Spalte III. näher angiebt. Die zunächst unter dem Worte Holzgeist stehende Zahlenreihe $^1/_2$ (195) + $^1/_2$ (277) bedeutet, daß 1 Maß Holzgeistdampf als bestehend aus $^1/_2$ Maß Methyloxyd (Nr. 195) und $^1/_2$ Maß Wasserdampf (Nr. 277) angesehen werden kann und diese näheren Bestandtheile, da die Summe ihrer Volume gleich ist Einem Maße oder gleich dem Volumen der Verbindung, sich ohne Verdichtung verbunden haben, wie in der Spalte III. durch das Verhältniß 1 : 1 ausgedrückt ist. Die Formel in Spalte II. sagt dasselbe, sobald man die Bedeutung ihrer Glieder kennt, zeigt aber überdies, wie viel Maß von den entfernteren Bestandtheilen in jedem Maße der näheren enthalten sind. Die zweite Zahlenreihe (189) + (277), wie die entsprechende Formel in Spalte II., lehrt, daß sich ein Maß Holzgeistdampf auch als

---

*) Als welche indeß oft die elementaren Bestandtheile binärer Verbindungen angesehen wurden.

zusammengesetzt aus 1 Maß Methylen und 1 Maß Wasserdampf betrachten läßt. Nach dieser von den meisten Chemikern jetzt verlassenen Ansicht sind demnach 2 Maß nähere Bestandtheile in 1 Maß der Verbindung, und die Verdichtung der Summe dieser Bestandtheile steht also im Verhältniß 2 : 1, wie Spalte III. angiebt. Spalte IV. endlich sagt, daß ein Maß Holzgeistdampf Einem Viertel Atome Holzgeist entspicht.

Spalte V. enthält die Dichtigkeit oder das specifische Gewicht der Gase, berechnet aus den Atomgewichten. Es sind nämlich die Atomgewichte erstlich dividirt durch 100 und dann multiplicirt mit dem specifischen Gewichte des Sauerstoffgases, das der atmosphärischen Luft gleich Eins genommen. Multiplicirt mit 1,299075 geben diese Zahlen das Gewicht von 1 Liter oder 1000 Cubikcentimetern des Gases, bei 0° und 0^{m},76, in Grammen, ein Gewicht, das bei den meisten Dämpfen natürlich nur ein ideelles ist, da sie bei 0° und 0^{m},76 selten noch ihre Dampfgestalt behalten können.

Bei diesen Berechnungen sind für das specifische Gewicht des Sauerstoffs, Wasserstoffs, Stickstoffs und Kohlenstoffs diejenigen Angaben zum Grunde gelegt, welche bis zum J. 1841 allgemein als richtig anerkannt wurden, nämlich für das
des Sauerstoffs = 1,1026 (nach Berzelius und Dulong
" Wasserstoffs = 0,0688 " "
" Stickstoffs = 0,0976 " "
" Kohlenstoffs = 0,84279 berechnet aus dem von Berzelius zu 76,438 bestimmten Atomgewichte dieses Stoffes und dem specifischen Gewichte 1,1026 des Sauerstoffs. Neuere Untersuchungen (deren Resultate in der folgenden Tafel angegeben sind) haben etwas andere Zahlen geliefert, und es hätten demgemäß alle berechneten Resultate entsprechend umgeändert werden müssen. Nichts desto weniger haben wir in dieser Beziehung keine Aenderung gemacht, weil (abgesehen von den schon erwähnten Ungewißheiten in Bestimmung der Dichtigkeit der Dämpfe überhaupt) die Unterschiede nicht so groß und die beobachteten Resultate meistens nicht so genau berechnet sind, daß mit den neuen Angaben ein erheblicher Vortheil, d. h. eine größere Uebereinstimmung der Beobachtung mit der Rechnung, erreicht worden wäre, zumal es jetzt fast mehr als zweifelhaft ist, daß die dieser Vergleichung zum Grunde liegende Gay-Lussac's Volumentheorie (der gemäß die Gase und Dämpfe sich bei allen Temperaturen und unter allen Drucken in einfachen, durch ganze Zahlen ausdrückbaren Verhältnissen verbinden sollen) in aller Strenge richtig sei. Bei vorausgesetzter Richtigkeit dieser Theorie sind die in Spalte V angegebenen berechneten Resultate vollkommen hinreichend, das Volumenverhältniß der Bestandtheile eines zusammengesetzten Dampfes oder Gases und die Verdichtung derselben zu berechnen.

Spalte VI. enthält die beobachtete Dichtigkeit.

Spalte VII. nennt den Beobachter und den Ort, wo seine Wägung beschrieben.

Spalte VIII. giebt für diejenigen Substanzen, welche für gewöhnlich flüssig sind oder durch zweckmäßige Anwendung von Druck und Temperatur in den flüssigen Zustand versetzt werden können, den Siedepunkt an, ausgedrückt in Centesimalgraden. Wenn der Barometerstand dabei beobachtet worden, ist er hinter einem Semicolon angegeben, gewöhnlich in Millimetern, bei einigen der perma-

nenteren Gase in Atmosphären (Atm.). Wo diese Angabe fehlt, hat man einen Luftdruck von ungefähr 760 Millimetern vorauszusetzen. Ein Fragezeichen bedeutet, daß der Siedepunkt noch nicht bestimmt worden ist. Der Siedepunkt ist übrigens, wie bekannt, die niedrigste Temperatur, bei welcher die Spannkraft eines Gases dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht hält. Unterhalb dieses Punktes und unter einem größeren Drucke, als bei welchen er bestimmt worden, sind natürlich die specifischen Gewichte in Spalte V. und VI. eingebildete.

Spalte IX. endlich giebt das specifische Gewicht der in Spalte I. aufgeführten Substanzen im flüssigen oder starren Zustande, wenn sie desselben fähig sind, und lehrt, unter welchen Umständen dieselben gasig, flüssig oder starr sind. Ist eine solche in gewöhnlicher Temperatur und unter gewöhnlichem Drucke gasförmig, so steht hier das Zeichen ⊙; hat man sie durch Erniedrigung der Temperatur oder Erhöhung des Druckes bereits in den flüssigen Zustand versetzt und zugleich diese Elemente näher bestimmt, so findet man sie durch den Siedepunkt angegeben. Ist sie dagegen unter den gewöhnlichen Umständen flüssig, so ist dies bloß durch Angabe des specifischen Gewichtes der Flüssigkeit, nebst der Temperatur in Centesimalgraden, bei welcher es beobachtet worden, ausgedrückt. Weiß man nur, daß die Flüssigkeit schwerer oder leichter als Wasser ist, so steht 1,... oder 0,... Ist endlich das specifische Gewicht noch ganz unbekannt, so findet man ein Fragezeichen. Die in gewöhnlicher Temperatur starren Substanzen sind mit * bezeichnet.

Die specifischen Gewichte in dieser Spalte beziehen sich auf das des Wassers gleich Eins. Wollte man sie auf das der Luft, bei 0^0 und 760^{mm} Druck beziehen, also auf gleiche Einheit mit denen in Spalte V. und VI., so müßte man sie durch 0,001299075 dividiren. Letztere Zahl ist das specifische Gewicht der Luft, unter genannten Umständen gegen das des Wassers bei $+ 4^0,0$ C., dem Punkte seiner größten Dichtigkeit. Die angeführten specifischen Gewichte der Flüssigkeiten sind indeß wohl fast immer gegen Wasser von gleicher Temperatur mit diesen bestimmt worden. Dividirt man das specifische Gewicht f einer Substanz im flüssigen oder starren Zustande durch ihr specifisches Gewicht g im gasigen Zustande multiplicirt mit 0,001299075, dem specifischen Gewichte der Luft bei 0^0 und $0^m,76$ gegen das des Wassers bei 4^0 C., oder anders gesagt, berechnet man: $\frac{f}{g} \cdot \frac{1000}{1,299075}$, so findet man, wie viel Ein Maß der Substanz im flüssigen oder starren Zustande, von der Temperatur, bei welcher f bestimmt worden, an Maßen Gas bei 0^0 und $0^m,76$ liefern würde.

Für Wasser fände man dadurch: $\frac{1,000}{0,6201} \times \frac{1000}{1,299075} = 1241,4.$

Wünschte man die Zahl von Maßen zu kennen, welche die Substanz an Gas von t^0 und $0^m,76$ liefern würde, so hätte man die Zahl 1,299075 durch $(1 + 0,00365\ t)$ zu dividiren.

Für Wasser von 4^0 C. fände man, wenn z. B. $t = 100^0$:

$$\frac{1,000}{0,6201} \times \frac{1000 \times 1,365}{1,299075} = 1694,5.$$

Da ein Cubikcentimeter Wasser von der Temperatur 4^0 C. ein Gramm wiegt, so sind zugleich 1241,4 und 1694,5 die Mengen der Cubikcentimeter Gas, die,

unter den genannten Umständen, von einem Gramm Wasser geliefert werden. Dasselbe gilt für jede andere Substanz, wenn man den ersten Theil der Gleichung durch f, d. h. durch das Gewicht eines Cubikcentimeters der Substanz dividirt. Hierauf beruht das Gay-Lussac'sche Verfahren zur Bestimmung der Dichtigkeit von Dämpfen.

Die Quotienten $\frac{f}{g}$ für verschiedene Substanzen scheinen, wenigstens annähernd, in einfachen Verhältnissen zu stehen, aber es läßt sich bis jetzt nur bei wenigen sicher nachweisen.

Von den 57 bis jetzt bekannten elementaren Körpern sind gegenwärtig 10, nämlich Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Chlor, Brom, Jod, Arsen und Quecksilber im Gaszustande gewogen worden, und von den sieben letzten kennt man auch die Dichtigkeit im starren oder flüssigen Zustande. Nur bei diesen sieben Elementen läßt sich also das Verhältniß ihrer Volume in beiden Aggregatzuständen nach der angegebenen Methode ohne alle Hypothese, und wenigstens mit Annäherung zur Wahrheit, berechnen. Man findet dadurch folgendes:

1 Volumen starr. Schwefel giebt $\frac{2,09}{6,65} \cdot 769,8 = 241,9$ Vol. Gas

1 Volumen " Phosphor " $\frac{1,77}{4,326} \cdot 769,8 = 315,0$ " "

1 Volumen flüssig. Chlor " $\frac{1,33}{2,44} \cdot 769,8 = 419,6$ " "

1 Volumen " Brom " $\frac{2,966}{5,393} \cdot 769,8 = 423,4$ " "

1 Volumen starr. Jod " $\frac{4,95}{8,701} \cdot 769,8 = 438,0$ " "

1 Volumen " Arsen " $\frac{5,76}{10,365} \cdot 769,8 = 427,8$ " "

1 Volumen flüss. Quecksilber " $\frac{1,356}{6,978} \cdot 769,8 = 1496,0$ " "

Diese Resultate können nur annähernd sein, da die specifischen Gewichte im Nichtgaszustande, abgesehen von den Beobachtungsfehlern, nicht unter denselben Umständen genommen wurden. Dessen ungeachtet ist die nahe Gleichheit der Volumenzahl beim Chlor, Brom, Jod, Arsen ein höchst bemerkenswerther Umstand, der es sehr bedauern läßt, daß wir bis jetzt diese Zahl für die übrigen Elemente nicht anders als unter der doppelten Hypothese berechnen können, daß die specifischen Gewichte der Gase den jetzt allgemein angenommenen Atomengewichten proportional, und letztere richtig festgesetzt seien, d. h. nicht etwa ein Multiplum oder Submultiplum von ihnen genommen werden müsse.

Tafeln über die Dichtigkeit

I. Namen der Dämpfe und Gase	II. Zusammensetzung. Volume in Einem Volumen	III. Verdichtung	IV. At. auf 1 Vol.
1. Aceton (129, 186)			
2. Acetyl (25)	$C_2 H_3$	5:1	$^1/_2$
3. Acetylbromid (69)	$^1/_2 C_2 H_3 + ^1/_2 Br.$	1:1	$^1/_4$
4. Acetylchlorid (90)	$^1/_2 C_2 H_3 + ^1/_2 Cl$	1:1	$^1/_4$
5. Acetylhyperchlorid	$^1/_2 C_2 H_3 + ^3/_2 Cl$	2:1	$^1/_8$
6. " " (17)	$^1/_2 C_2 H_3 + ^3/_2 Cl$	2:1	$^1/_8$
7. Acetyljodid (152)	$^1/_2 C_2 H_3 + ^1/_2 J$	1:1	$^1/_4$
8. Acetiloxyd	$C_2 H_3 + ^1/_2 O$	3:2	$^1/_4$
9. Acetylsäure (130)	$C_2 H_3 + ^3/_2 O$	5:2	$^1/_2$
10. Aether (22)	$C_2 H_5 O_{1/2}$	15:2	$^1/_2$
2 (123) + 277	$2 C H_2 + H O_{1/2}$	3:1	
11. Aetherin (123, 210)			
12. Aetheröl (281, 282)			
13. Aethyl	$C_2 H_5$	7:1	$^1/_2$
14. Aethylbromid (72)	$^1/_2 C_2 H_5 + ^1/_2 Br$	1:1	$^1/_4$
15. Aethylchlorid (100)	$^1/_2 C_2 H_5 + ^1/_2 Cl$	1:1	$^1/_4$
	$(^1/_2 C_2 H_5 Cl)$	4:1	
16. Aethylchloridid A *)	$(^1/_2 C_2 H_4 Cl_2)$	4:1	$^1/_8$
17. " " B (6)	$(^1/_2 C_2 H_3 Cl_3)$	4:1	$^1/_8$
18. " " C (141)	$(^1/_2 C_2 H_2 Cl_4)$	4:1	$^1/_8$
19. " " D	$(^1/_2 C_2 H Cl_5)$	4:1	$^1/_4$
20. Aethylcyanid (117)	$^1/_2 C_2 H_5 + ^1/_2 Cy$	1:1	$^1/_4$
21. Aethyljodid (155)	$^1/_2 C_2 H_5 + ^1/_2 J$	1:1	$^1/_2$
22. Aethyloxyd (10)	$C_2 H_5 + ^1/_2 O$	3:2	$^1/_2$
23. Aethylsulphid	$C_2 H_5 + ^1/_6 S$	7:6	$^1/_2$
24. Aldehyd	$C H_2 O_{1/2}$	7:2	$^1/_4$
$^1/_2$ (8) + $^1/_2$ (277)	$^1/_2 C_2 H_3 O_{1/2} + ^1/_2 H O_{1/2}$	1:1	
25. Aldehyden (2)			
26. Alkarsin (161)			
27. Alkohol	$C H_3 O^1/_2$	9:2	$^1/_4$
$^1/_2$ (22) + $^1/_2$ (277)	$^1/_2 C_2 H_5 O_{1/2} + ^1/_2 H O_{1/2}$	1:1	
(123) + (277)	$C H_2 + H O_{1/2}$	2:1	
28. Ameisenäther	$C_{3/2} H_3 O$	11:2	$^1/_8$
$^1/_2$ (22) + $^1/_2$ (29)	$\{ ^1/_2 C_2 H_5 O_{1/2} + ^1/_2 C H O_{3/2} \}$	1:1	
29. Ameisensäure, Wassersäure (114)	$C H O^3/_2$	7:2	$^1/_2$
30. Ameisensäure, Hydrat	$C_{1/2} H O$	5:2	$^1/_8$
$^1/_2$ (29) + $^1/_2$ (277)	$^1/_2 C H O_{3/2} + ^1/_2 H O_{1/2}$	1:1	
31. Amilen	$C_5 H_{10}$	15:1	$^1/_2$
32. Amilen, essigsaures	$2 C_5 H_{10} + 2 C_2 H_4 O_2$	4:1	$^1/_8$
33. Ammoniak	$^1/_2 N + ^3/_2 H$	2:1	$^1/_4$
34. Ammon. chlorwasserstoffs.	$^1/_2 N_{1/2} H_{2/3} + ^1/_2 Cl_{1/2} H_{1/2}$	1:1	$^1/_8$
35. Ammon. cyanwasserstoffs.	$^1/_2 N_{1/2} H_{3/2} + ^1/_2 Cy_{1/2} H_{1/2}$	1:1	$^1/_8$
36. Ammon. kohlens. neutr.	$^2/_3 N_{1/2} H_{3/2} + ^1/_3 C_{1/2} O$	1:1	$^1/_6$
37. Ammon. schwefelwasserstoffsaur.	$^1/_2 N_{1/2} H_{3/2} + ^1/_2 H S ^1/_6$	1:1	$^1/_8$
38. Ammon. schwefelwasserst. neutr.	$^2/_3 N_{1/2} H_{3/2} + ^1/_3 H S_{1/6}$	1:1	$^1/_6$

*) Die Substanzen 16—19 sind Regnault's Ether mono-, bi-, tri-, quadrichloruré.

der Gase und Dämpfe.

V. Dichtigkeit berechnet	VI. Dichtigkeit beobachtet	VI. Beobachter	VIII. Siedepunkt C°.	IX. Gewöhnlicher Zustand. Spec. Gew.
1,89198				
3,64268	3,691	Regnault, Ann. d. Phys. 37; 86	?	⊙
2,16616	2,116	Regnault, Ann. d. Phys. 37; 83	— 17	⊙
4,60648	4,697	Regnault, Ann. d. Chemie et de Phys. 69; 154	115	1,422; 17,0
4,60648	4,530	Regnault, Ann. d. Ch. et de Ph. 71; 364	75	1,372; 46,0
5,29655	4,78	Regnault, Ann. d. Phys. 37; 90	?	?
2,44328				
3,54588				
2,58088	2,586	Gay-L., Ann. d. Chym. et de Ph. 1; 218 und 2; 135	35,7; 760	0,7119; 24,8
2,02938			?	?
3,71148				
2,23496	2,219	Thenard, Mem. d'Arcueil 1; 121	11°	0,874; 5,0
3,42072	3,478	Regnault, Ann. de Ch. et de Ph. 71; 358	64	1,174; 17,0
4,60649	4,530	Regnault, Ann. d. Ch. et de Ph. 71; 364	75	1,372; 16,0
5,79225	5,799	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 71; 366	102	1,530; 17,0
6,97801	6,975	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 71; 369	146	1,644
1,92419			82; 787	0,787; 15,0
5,36535	5,4749	Gay-L., Ann. d. Ch. et de Phys. 2; 218	64,5	1,9206; 22,3
3,13860	3,100	Regn., Ann. de Ch. et de Ph. 71; 389	73	0,825; 20
1,53169	1,532	Liebig, Ann. der Physik 36; 285	21,8	0,790; 18,0
1,60049	1,6133	Gay-L., Ann. de Ch. et de Ph. 1; 218 u. 2; 135	78°,4; 760	0,79235; 17,9
2,57318	2,593	Liebig, Ann. d. Pharm. 16; 170	53,4; 750	0,912
2,56549				
1,59279	1,5	Bineau, Ann. de Ch. et de Ph. 68; 420	100; 761	1,2353
4,90195	5,061	Cahours, Ann. de Ch. et de Ph. 70; 95	160	0, ...
4,53396	4,458	Cahours, Ann. de Ch. et de Ph. 75; 199	125	0, ...
0,59120	0,5967	Biot u. Arago, Mém. de l'Institut 1806. 320	0; 5 Atm.	⊙
0,92288	0,89	Bineau, Ann. de Ch. et de Ph. 68; 440		*
0,76749	0,8021	Bineau, Ann. de Ch. et de Ph. 70; 263		*
0,90213	0,8992	H. Rose, Ann. d. Phys. 46; 363		*
0,88451	0,9011	Bineau, Ann. de Ch. et de Ph. 68; 436		*
0,78674	0,7848?	Bineau, Ann. de Ch. et de Ph. 70; 262		*

I. Namen der Dämpfe und Gase	II. Zusammensetzung. Volume in einem Vol.	III. Verdichtung	IV. At. auf 1 Vol.
39. Ammontellurwasserst.	$^1/_2\ N_{1/2}\ H_{3/2} + {}^1/_2\ H\ T_{1/2}$	1 : 1	$^1/_8$
40. Amyl	$C_{5/2}\ H_{11/2}$	8 : 1	$^1/_4$
41. Amyloxyd	$C_{5/2}\ H_{11/2}\ O^1/_4$	33 : 4	$^1/_6$
42. Amyloxydhydrat 145	$C_{5/2}\ H_{11/2}\ O_{1/4} + {}^1/_2\ H\ O_{1/2}$	3 : 2	$^1/_4$
$^1/_2$ (31) + (277)	$^1/_2\ C_5\ H_{10} + H\ O_{1/2}$	3 : 2	
43. Amyljodid	$C_{5/2}\ H_{11/2}\ J_{1/2}$	17 : 2	$^1/_4$
$^1/_2$ (31) + (154)	$^1/_2\ C_5\ H_{10} + H_{1/2}\ J_{1/2}$	3 : 2	
44. Antimon	Sb		2
45. Antimonchlorür	$^1/_4\ Sb + {}^6/_4\ Cl$	7 : 4	$^1/_4$
46. Antimonwasserstoff	$^1/_4\ Sb + {}^6/_4\ H$	7 : 4	$^1/_4$
47. Arsen	As		2
48. Arsenchlorür	$^1/_4\ As + 6^6/_4\ Cl$	7 : 4	$^1/_4$
49. Arsenige Säure	As + 3 O	4 : 1	1
50. Arsenjödür	$^1/_4\ As + {}^6/_4\ J$	7 : 4	$^1/_4$
51. Arsenwasserstoff	$^1/_4\ As + {}^6/_4\ H$	7 : 4	$^1/_4$
52. Atmosphärische Luft			
53. Benzin	$C_3\ H_3$	6 : 1	$^1/_6$
54. Benzoëäther	$C_{9/2}\ H_5\ O$	21 : 2	$^1/_6$
$^1/_2$ (22) + $^1/_2$ (55)	$^1/_2\ C_2\ H_5\ O_{1/2} + {}^1/_2\ C_7\ H_5\ O_{3/2}$	1 : 1	
55. Benzoësäure, wasserfr.	$C_7\ H_5\ O_{3/2}$	27 : 2	$^1/_2$
56. Benzoësäure, krystall.	$^1/_2\ C_7\ H_5\ O_{3/2} + {}^1/_2\ H\ O_{1/2}$	1 : 1	$^1/_6$
(53) + (171)	$C_3\ H_3 + C_{1/2}\ O$	2 : 1	
57. Benzoën	$^1/_2\ C_7\ H_8$	15 : 2	$^1/_6$
58. Bergamottöl	$C_5\ H_8$	13 : 1	$^1/_2$
59. Bernsteinäther	$C_4\ H_7\ O_2$	13 : 1	$^1/_2$
(22) + (60)	$C_2\ H_5\ O_{1/2} + C_2\ H_2\ O_{3/2}$	2 : 1	
60. Bernsteinsäure, wasserfr.	$C_2\ H_2\ O_{3/2}$	11 : 2	$^1/_2$
61. Bicarburet (272)	$C_3\ H_3$	6 : 1	$^1/_3$
62. Bor	B		1
63. Borchlorid	$^1/_4\ B + {}^6/_4\ Cl$	7 : 4	$^1/_8$
64. Borfluorid	$^1/_4\ B + {}^6/_4\ F$	7 : 4	$^1/_6$
65. Brenzschleimäther	$C_{7/2}\ H_{8/2}\ O_{3/2}$	9 : 1	$^1/_6$
$^1/_2$ (22) + $^1/_2$ (66)	$^1/_2\ C_2\ H_5\ O_{1/2} + {}^1/_2\ C_5\ H_3\ O_{3/2}$	1 : 1	
66. Brenzschleimsäure	$C_5\ H_3\ O_{5/2}$	21 : 2	$^1/_2$
67. Brom	Br		1
68. Bromätherin (124)			
69. Bromaldehyden (3)			
70. Bromoform (138)			
71. Bromwasserstoff	$^1/_2\ H + {}^1/_2\ Br$	1 : 1	$^1/_2$
72. Bromwasserstoffäther (14)	$C\ H_2 + H_{1/2}\ Br_{1/2}$	2 : 1	$^1/_4$
73. Brom-Phosphor, Wasserstoff 229	$^1/_2\ H_{6/4}\ P + {}^1/_2\ H_{1/2}\ Br_{1/2}$	1 : 1	$^1/_3$
74. Camphen (Camphogen)	$C_5\ H_7$	12 : 1	$^1/_4$
75. Campher	$C_5\ H_8\ O_{1/2}$	27 : 2	$^1/_8$
76. Campholen	$C_{9/2}\ H_8$	25 : 2	$^1/_4$
77. Campholsäure	$^1/_4\ [C_{20}\ H_{34}\ O_3 + 2\ H\ O_{1/2}]$	3 : 1	$^1/_3$
78. Camphon (Camphen)			

V. Dichtigkeit berechnet	VI. Dichtigkeit beobachtet	VII. Beobachter	VIII. Siedepunkt C°.	IX. Gewöhnlicher Zustand. Spec. Gew.
2,54105		Bineau, Ann. de Ch. et de Ph. 68; 438		*
2,48537				
2,76102				
3,07107	3,147	Dumas, Ann. de Ph. 34; 338. Cahours, Ann. de Ch. et de Ph. 70; 83	132,0; 760	0,8184; 15
6,83594	6,675	Cahours, Ann. de Ch. et d. Phys. 70; 97	120; 760	1, ...
17,78388				* 6,70
8,10647	7,8	Mitscherlich, Ann. d. Ph. 29; 226		*
4,54917				⊙
10,36536	10,65	Mitscherlich, Ann. d. Ph. 29; 218		* 5,76
6,25183	6,3006	Dumas, Ann. d. Phys. 9; 316	132	1, ...
13,67316	13,85	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 222		*3,70; 4
15,64300	16,1	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 222		*
2,69454	2,695	Dumas, Ann. de Phys. 9; 312		⊙
1,00000	1,000			⊙
2,73477	2,77	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 234	86	0,85
5,23915	5,409	Dumas, Ann. de Phys. 12; 444	209	1,0539; 10,0
7,89743				
4,25877	4,27	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 235	245	* 0,657
3,22496	3,260	Deville, Ann. de Ch. et de Phys. Ser. III. III.; 168	108	0,87; 18
4,76435	4,69	Soubeiran und Capitaine, Ann. der Pharm. 34; 321	195	0,850
6,05796	6,22	F. Dariet, Ann. d. Phys. 36; 85	214	1,036; 15
3,47708				
2,73477	2,752	Faraday, Ann. der Phys. 5; 309	85,5	0,85; 15
1,59934				*1, ...
4,03532	3,942	Dumas, Ann. d. Phys. 9; 429		⊙
2,30824	2,3124	Dumas, Ann. de Phys. 9; 432		⊙
4,87886	4,859	Malaguti, Ann. d. Ch. et d. Ph. 64; 281	209; 756	*
7,17685				
5,39337	5,54	Mitscherlich, Ann. d. Ph. 29; 217	47	2,966
2,73109				⊙
3,71148			?	?
1,95784		Bineau, Ann. d. Ch. et d. Ph. 68; 430	30?	*
4,69555	4,78	De Lalande, Ann. d. Ch. et d. Ph. Ser. III. I; 369	175	*0,860; 13
5,31565	5,468 5,337	Dumas, Ann. de Ph. 26; 532 Dumas, Traité de Chimie V; 63	204	*0,9857
4,43295	4,353	De Lalande, Ann. d. Ch. et d. Ph. Ser. III. I; 126	135	. . . . .
5,93575	6,058	De Lalande, Ann. d. Ch. et d. Ph. Ser. III. I; 124	250	*

I. Namen der Dämpfe und Gase	II. Zusammensetzung. Volume in Einem Vol.	III. Verdichtung	IV. At. auf 1 Vol.
79. Caoutschin	$C_5\ H_8$	13 : 1	$^1/_2$
80. Carven	$C_5\ H_8$	13 : 1	$^1/_2$
81. Cederöl	$C_8\ H_{13}\ O_{1/2}$	43 : 2	$^1/_4$
82. Cedren	$C_{32}\ H_{48}$	80 : 1	$^1/_4$
83. Ceten	$C_8\ H_{16}$	24 : 1	$^1/_4$
84. Cetyl.	$C_{16}\ H_{32}$	49 : 1	$^1/_2$
85. Chlor	Cl		1
86. Chlorätheröl	$C_2\ H_4\ Cl\ O_{1/2}$	15 : 2	$^1/_2$
87. Chlorätherin (125)			
88. Chloral	$C\ H_{1/2}\ Cl_{3/2}\ O_{1/2}$	7 : 2	$^1/_8$
89. Chloralhydrat	$^1/_2\ C\ H_{1/2}\ Cl_{3/2}\ O_{1/2}$ $+\ ^1/_2\ H\ O_{1/2}$ $^1/_4\ C\ H\ Cl_{3/2} + \ ^1/_4\ C\ H\ O_{3/4}$	1 : 1 1 : 2	} $^1/_4$
90. Chloraldehyden (4)			
91. Chlorbenzid	$C_3\ H_{3/2}\ Cl_{3/2}$	15 : 2	$^1/_4$
92. Chlorkohlensäure	$C\ Cl\ O_{3/2}$	7 : 2	$^1/_2$
93. Chlorkohlensäureäther . . . . $^1/_2$ (22) + $^1/_2$ (92)	$C_{3/2}\ H_{5/2}\ Cl_{1/2}\ O$ $^1/_2\ C_2\ H_5\ O_{1/2} + \ ^1/_2\ C\ Cl\ O_{3/2}$	11 : 2 1 : 1	} $^1/_4$
94. Chlorkohlenstoff (167, 168, 169)			
95. Chloroform (142)			
96. Chloroxyd	{ $Cl + \ ^1/_2\ O$? { $^1/_2\ Cl + O$?	3 : 2 3 : 2	$^1/_2$ $^1/_4$
97. Chlorschwefelsäure. . . . . . (254) + (85)	$S_{1/6}\ O\ Cl$ $S_{1/6}\ O + Cl$	13 : 6 1 : 1	} $^1/_2$
98. Chlorwasserstoff	$^1/_2\ H + \ ^1/_2\ Cl$	1 : 1	$^1/_2$
99. „ , wasserhaltig . .	$^1/_9\ H_{1/2}\ Cl_{1/2} + \ ^8/_9\ H\ O_{1/2}$	1 : 1	$^1/_{36}$
100. Chlorwasserstoffäther (15) . . .	$C\ H_2 + H_{1/2}\ Cl_{1/2}$	2 : 1	$^1/_4$
101. Chlor-Phosphor-Wasserstoff (230)	$^1/_2\ H_{6/4}\ P_{1/4} + \ ^1/_2\ H_{1/2}\ Cl_{1/2}$	1 : 1	$^1/_8$
102. Chrom	Cr		1
103. Chromoxydchlorid	$\overline{Cr}_{1/2}\ O\ Cl$	5 : 2	$^1/_2$
104. Cinnamen	$C_4\ H_4$	8 : 1	$^1/_4$
105. Citren	$C_5\ H_8$	13 : 1	$^1/_2$
106. Citrilen (Citronyl)	$C_5\ H_8$	13 : 1	$^1/_2$
107. Citronenöl	$C_5\ H_8$	13 : 1	$^1/_2$
108. Colophen	$C_{10}\ H_{16}$	26 : 1	$^1/_2$
109. Cumen	$^1/_2\ (C_9\ H_{12})$	21 : 2	$^1/_4$
110. Cuminol	$C_5\ H_6\ O_{1/2}$	23 : 2	$^1/_4$
111. Cuminſ. Aether	$C_6\ H_8\ O_1$	20 : 1	$^1/_4$
112. Cyan	$C + N$	2 : 1	1

V. Dichtigkeit berechnet	VI. Dichtigkeit beobachtet	VII. Beobachter	VIII. Siedepunkt C°.	IX. Gewöhnlicher Zustand. Spec. Gew.
4,76435	4,461	Himly (de Caoutschouk p. 61)	171,5	0,842; 15
4,76435	5,175	?	173	
8,18802	8,4	Walter, Ann. d. Ch. et d. Ph. Ser. III. 1; 500	282	*
7,56792	7,9	Walt., Ann. d. Ch. et d. Ph. Ser. III. 1; 502	248	0,984; 15
7,84312	8,007	Dumas et Peligot, Ann. d. Ch. et d. Ph. 62; 10	275	0, . . . ?
15,75504				
2,44033	2,47	Gay-L. u. Thenard, Recherches physico-chimiques 2; 125	15,5; 4 At.	⊙
4,95241	4,93	F. D'Arcet, Ann. d. Ch. et d. Ph. 66; 108	180	1, . . . ?
5,08899	5,05	Dumas, Ann. de Phys. 31; 660	94	1,502; 18
2,85454	2,76	Dumas, Ann. de Phys. 31; 662		*
6,29206	6,37	Mitscherlich, Ann. d. Phys. 35; 374	210	1,457; 7,0
4,93702				
3,75895	3,823	Dumas, Ann. de Phys. 31; 644	94; 773	1,133; 15
2,99163	2,27	H. Davy, (Element p. 213)	10; 40 At.	⊙
2,32276		Gay-L., Ann. d. Ch. et d. Phys. 1; 218		
4,65195	4,665	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 69; 174 (71; 445)	77,0	1,659; 20
1,25456	1,2474	Biot u. Arago, Mémoires de l'Institut, 1860. 320	10; 40 At.	⊙
0,69060		Bineau, Ann. d. Ch. et d. Ph. 68; 422	110	1, . . .
2,23495	2,219	Thenard, Mém. d'Arcueil. I.; 121	11	0,874; 5,0
1,21958		Bineau, Ann. d. Ch. et d. Ph. 70; 431		⊙
3,87916				*5,19?
5,48251	5,9	Walter, Ann. d. Phys. 43; 159	118; 760]	1,71; 21
	5,5	Dumas, Ann. d. Ch. et d. Ph. 68; 427		
3,64636	3,55	Gerhardt u. Cahours, Ann. d. Ch. et d. Ph. Ser. III. 1; 97	140	. , ...
4,76435	4,891	Cahours, Ann. d. Ch. et d. Ph. 70; 103	165	0,8569; 15
	4,73	Soubeiran u. Capitaine, Annalen der Pharm. 34; 318	165	0,847
4,76435	5,08	Soubeiran u. Capitaine, Annalen der Pharm. 34; 319	168 — 175	0,88
4,76435	4,84	Soubairan u. Cap. Ann. d. Pharm. 34; 318	165	0,844
9,52870	11,13	Deville, Ann. d. Ch. et d. Ph. 75; 68	310 — 15	0,94; 9
4,20535	3,96	Gerhardt u. Cahours, Ann. d. Ch. et d. Ph. Ser. III. 1; 89	144	. , ...
5,17805	5,24	Gerhardt u. Cah., Ann. d. Ch. et d. Ph. Ser. III. 1; 67	220	, ...
6,70974	6,65	Gerhardt u. Cah., Ann. d. Ch. et d. Ph. Ser. III. 1; 79	240	0, ...
1,81879	1,8064	Gay-L., Ann. de Chimie. 95; 177	7; 3,6 At.	⊙

I. Namen der Dämpfe und Gase	II. Zusammensetzung. Volume in Einem Vol.	III. Verdichtung	IV. At. auf 1 Vol.
113. Cyanbromür	$\frac{1}{2}$ C N + $\frac{1}{2}$ Br	1 : 1	$\frac{1}{2}$
114. Cyanchlorür	$\frac{1}{2}$ C. N + $\frac{1}{2}$ Cl	1 : 1	$\frac{1}{2}$
115. 〃 , starres	$\frac{3}{2}$ C N + $\frac{3}{2}$ Cl	3 : 1	$\frac{3}{2}$
116. Cyanwasserstoff	$\frac{1}{2}$ C N + $\frac{1}{2}$ H	1 : 1	$\frac{1}{2}$
117. Cyanwasserstoffäther (20)			
118. Cymen	$C_5 H_7$	12 : 1	$\frac{1}{4}$
119. Ditetryl (232)			
120. Dumasin	$C_3 H_8 O_{1/2}$	27 : 2	$\frac{1}{2}$
121. Elaen (Elaène)	$C_4 H_8$	12 : 1	$\frac{1}{4}$
122. Elaldehyd (3 × 24)	$C_3 H_6 O_{3/2}$	21 : 2	$\frac{1}{4}$
123. Elayl (11. 210)	$C H_2$	3 : 2	$\frac{1}{4}$
124. Elaylbromid (68)	$C H_2$ + Br	2 : 1	} $\frac{1}{4}$
(3) + (71)	$C H_{3/2} Br_{1/2} + H_{1/2} Br_{1/2}$	2 : 1	
125. Elaylchlorid (87. 147)	$C H_2$ + Cl	2 : 1	} $\frac{1}{4}$
(4) + (98)	$C H_{3/2} Cl_{1/2} + H_{1/2} Cl_{1/2}$	2 : 1	
126. Elaylchlorid B.	$C H_2$ + Cl	2 : 1	$\frac{1}{4}$
127. Elailjodid (151)	$C H_2$ + J	2 : 1	} $\frac{1}{4}$
(7) + (154)	$C H_{3/2} J_{1/2} + H_{1/2} J_{1/2}$	2 : 1	
128. Essigäther	$C_2 H_4 O$	7 : 1	} $\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$ (22) + $\frac{1}{2}$ (130)	$\frac{1}{2} C_2 H_5 O_{1/2} + \frac{1}{2} C_2 H_3 O_{1/2}$	1 : 1	
129. Essiggeist (186)	$C_{3/2} H_{6/2} O_{1/2}$	5 : 1	$\frac{1}{4}$
130. Essigsäure, wasserfr. (9)	$C_2 H_3 O_{3/2}$	13 : 2	} $\frac{1}{2}$
(2) + $\frac{3}{2}$ (249)	$C_2 H_3 + O_{3/2}$	2 : 1	
131. Essigsäure Hydrat	$\frac{2}{3} C_2 H_3 O_{3/2} + \frac{2}{3} H O_{1/4}$	4 : 3	$\frac{1}{3}$
132. Fluor	F		1
133. Fluorwasserstoff	$\frac{1}{2}$ H + $\frac{1}{2}$ F	1 : 1	$\frac{1}{2}$
134. Formal	$(\frac{1}{3} C_4 H_{10} O_3$	17 : 3	
135. Formethytal	$(\frac{1}{3} C_4 H_{10} O_3)$	17 : 3	$\frac{1}{6}$
136. Formosal (Xylit?)	$(\frac{1}{3} C_4 H_{10} O_2)$	16 : 3	
137. Formyl	C H	2 : 1	$\frac{1}{2}$
138. Formylhyperbromid (70)	$\frac{1}{2}$ C H + $\frac{3}{2}$ Br	2 : 1	$\frac{1}{4}$
139. Formylchlorid	C H + Cl	2 : 1	$\frac{1}{2}$
140. Formylhyperchlorür	C H + Cl	3 : 1	$\frac{1}{2}$
141. 〃 (18)	C H + Cl	3 : 1	$\frac{1}{2}$
142. Formylhyperchlorid 95	$\frac{1}{2}$ C H + $\frac{3}{2}$ Cl	2 : 1	$\frac{1}{4}$
143. Formylhyperjodid (153)	$\frac{1}{2}$ C H + $\frac{3}{2}$ J	2 : 1	$\frac{1}{4}$
144. Formylsäure (29)	C H + $\frac{3}{2}$ O	5 : 2	$\frac{1}{2}$
145. Fuselöl der Kartoffeln (42)			
146. Fuselöl (212)			
147. Holländ. Flüssigkeit (87. 125)			
148. Holzäther (195)	$C H_3 O_{1/2}$	9 : 2	} $\frac{1}{2}$
2 (189) + (277)	$2 C_{1/2} H_2 O_{1/2}$	3 : 1	
149. Holzgeist (196)	$C_{1/2} H_2 O_{1/2}$	3 : 1	} $\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$ (195) + $\frac{1}{2}$ (277)	$\frac{1}{2} C H_3 O_{1/2} + \frac{1}{2} H O_{1/2}$	1 : 1	
(189) + (277)	$C_{1/2} H + H O_{1/2}$	2 : 1	
150. Jod	J		1
151. Jodätherin (127)			
152. Jodaldehyden (7)			
153. Jodoform (143)			
154. Jodwasserstoff	$\frac{1}{2}$ H + $\frac{1}{2}$ J	1 : 1	$\frac{1}{4}$
155. Jodwasserstoffäther (21)	$C H_2 + J_{1/2} H_{1/2}$	2 : 1	$\frac{1}{4}$

V. Dichtigkeit berechnet	VI. Dichtigkeit beobachtet	VII. Beobachter	VIII. Siedepunkt C°.	IX. Gewöhnlicher Zustand. Spec. Gew.
3,60608		Bineau, Ann. d. Ch. et de Ph. 68; 426		*
2,12956		Gay-L., Ann. de Chimie. 95; 210		⊙
6,38868	6,35	Bineau, Ann. d. Ch. et d. Ph. 68; 425		*
0,94379	0,9476	Gay-L., Ann. de Chimie. 95; 150		⊙
4,69555	4,64	Gerhardt u. Cah., Ann. d. Ch. et d. Ph. Ser. III. I; 104	165	. , ...
3,31565	3,204	Kane, Ann. der Phys. 44; 496	120	0, ...
3,92156	4,071	Fremy, Ann. d. Ch. et d. Ph. 65; 145	110	0, ...
4,59507	4,5157	Fehling, Ann. der Pharm. 27; 321	94	0, ...
0,98039	0,9852	Saussure, Ann. de Chimie. 78; 63		⊙
6,37376	6,485	Regnault, Ann. der Phys. 37; 85	129,5; 762	2,164; 21
3,42072	3,478	Regnault, Ann. der Phys. 37; 79	82,5; 756	1,256; 12
3,42072	3,478	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 71; 358	64	1,174; 17
9,68150		Regnault, Ann. der Phys. 37; 88		*
3,06338	3,067	Dumas, Ann. de Phys. 12; 44	74; 760	0,866; 7
2,02189	2,019	Dumas, Ann. de Phys. 26; 191	55,6	0,7921
3,54588				
2,77732	2,74	Dumas (Concours etc. p. 34)	120	1,063; 17
1,28894				
0,67887				
2,45565	2,408	Kane, Ann. der Pharm. 19; 177	38	
2,45565	2,51	Dumas (Concours etc. p. 34)	42; 761	0,8551
2,08812	1,824	Kane, Ann. der Pharm. 19; 181		
0,91159				
8,54585		Dumas, Ann. de Phys. 31; 654		2,10
3,35192	3,321	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 69; 156	35—40	1,250; 15
5,79225	5,767	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 69; 163	135	1,576; 19
5,79225	5,799	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 71; 366	102	1,530; 17
4,11629	4,199	Dumas, Ann. de Phys. 31; 653		1,480; 18
	4,192	Liebig, Ann. der Pharm. 16; 171	60,8	*
13,50746		Dumas, Ann. de Phys. 31; 655		
2,56549				
1,60050	1,624	Dumas, Ann. de Phys. 36; 100		⊙
1,11030	1,120	Dumas, Ann. de Phys. 36; 92	66,5; 761	0,798; 20
8,70111	8,716	Dumas, Ann. de Phys. 9; 301	175—180	*4,95
4,38496	4,346	Gay-L., Ann. de Chimie. 91; 16		⊙
5,36535	5,4749	Gay-L., Ann. de Ch. et de Ph. I; 218	64,5	1,9200; 22,3

I. Namen der Dämpfe und Gase	II. Zusammensetzung. Volume in Einem Volumen	III. Verdichtung	IV. At. auf 1 Vol.
156. Jod-Phosphor-Wasserstoff	$^1/_2\ H_{3/2}\ P_{1/4} + {}^1/_2\ J_{1/2}\ H_{1/2}$	1 : 1	$^1/_4$
157. Kakodyl	$C_2\ H_6\ As_{1/2}$	17 : 2	$^1/_2$
158. Kakodylchlorür	$^1/_2\ C_2\ H_6\ As_{1/2} + {}^1/_2\ Cl$	1 : 1	$^1/_4$
159. " basisches	$^3/_4$ K. chlor. + $^1/_4$ K. ox.	1 : 1	$^1/_4$
160. Kakodylcyanür	$^1/_2\ C_2\ H_6\ As_{1/2} + {}^1/_2\ Cy$	1 : 1	$^1/_2$
161. Kakodyloxyd (Alkarsin)	$C_2\ H_6\ As_{1/2} + {}^1/_2\ O$	1 : 1	$^1/_2$
162. Kakodylsulfür	$C_2\ H_6\ As_{1/2} + S_{1/6}$	7 : 6	$^1/_2$
163. Kiesel	Si		1
164. Kieselchlorid	$^1/_3$ Si + 2 Cl.	7 : 3	$^1/_3$
165. Kieselfluorid	$^1/_3$ Si + 2 F	7 : 3	$^1/_3$
166. Kohle	C		1
167. Kohlenchlorid (94)	$C\ Cl_2$	3 : 1	1
168. Kohlenhyperchlorür	$C\ Cl_2$	4 : 1	1
169. Kohlenhyperchlorid	$C_{1/2}\ Cl_2$	5 : 2	$^1/_2$
170. Kohlenoxyd	$^1/_2$ C + $^1/_2$ O	1 : 1	$^1/_2$
171. Kohlensäure	$C_{1/2}\ O$	3 : 2	$^1/_2$
172. Kohlensäureäther	$C_{5/2}\ H_{10/2} + O_{3/2}$	9 : 1	$^1/_2$
(22) + (171)	$C_2\ H_5\ O_{1/2} + C_{1/2}\ O$	2 : 1	
173. Kohlensulfid (253)	$^1/_6$ C + $^2/_6$ S	5 : 6	$^1/_2$
174. Kohlenwasserstoff			
175. A	$C_2\ H_4$	6 : 1	
176. B	$C_{5/2}\ H_4$	13 : 2	
177. C	$C_3\ H_4$	7 : 1	
178. D	$C_{7/2}\ H_4$	15 : 2	
179. E	$C_4\ H_4$	8 : 1	
180. F	$(^1/_5\ C_{14}\ H_{22})$	36 : 5	
181. Menthen	$C_5\ H_9$	14 : 1	$^1/_4$
182. Mercaptan	$C\ H_3\ S_{1/6}$	25 : 6	$^1/_4$
$^1/_2$ (23) + $^1/_2$ (256)	$^1/_2\ C_2\ H_5\ S_{1/6} + {}^1/_2\ H\ S_{1/6}$	1 : 1	
(123) + (256)	$C\ H_2 + H\ S_{1/6}$	2 : 1	
183. Mesiten	$C_2\ H_4\ O$	7 : 1	$^1/_3$
	$^2/_3\ C\ H_3\ O_{1/2} + {}^2/_3\ C_2\ H_3\ O$	4 : 3	
184. Mesityl	$C_3\ H_5$	8 : 1	$^1/_2$

*) Die (hypothetische) Dichtigkeit des Kohlenstoffs hängt natürlich davon ab, ob man das Atomgewicht des Kohlenstoffs mit Liebig und Redtenbacher = 75,84, mit Berzelius (als Mittel der Resultate aus Wrede's Wägungen des Sauerstoffs, der Kohlensäure und des Kohlenoxydgases) = 75,12 mit Mitscherlich = 75,1 oder mit Dumas = 75,0 setzt, und das specifische Gewicht des Sauerstoffs mit Dumas = 1,1057, mit Saussure = 1,1056 oder mit Wrede = 1,1052. So wird sie unter andern:

$$0,75 \times 1,1057 = 0,82928$$
$$0,7512 \times 1,1052 = 0,83023$$
$$0,7584 \times 1,1052 = 0,83817$$

Das Mittel davon ist 0,83256. Wir haben aus den (S. 474) angegebenen Gründen zu den Berechnungen die alte Zahl 0,84972 beibehalten.

V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
Dichtigkeit berechnet	Dichtigkeit beobachtet	Beobachter	Siedepunkt C°.	Gewöhnlicher Zustand. Spec. Gew.
2,78478		Bineau, Ann. d. Ch. et d. Ph. 68; 429		
7,28106	7,101	Bunsen, Ann. d. Pharm. 42; 32	170	. , ...
4,86068	4,56	Bunsen, Ann. d. Pharm. 37, 33	100	1, ...
5,60362	5,46	Bunsen, Ann. d. Pharm. 37, 52	109	
4,54992	4,63	Bunsen, Ann. d. Pharm. 37; 20	140	*
7,83246	7,555	Bunsen, Ann. d. Pharm. 37; 12	150	1,462; 15
8,39008	7,72	Bunsen, Ann. d. Pharm. 37; 24	100 + x	. , ...
3,05949				
5,90049	5,939	Dumas, Ann. de Phys. 9; 416	100 — x	. . . . .
3,59771	3,600	Dumas, Ann. de Phys. 9; 419		⊙
0,84279*)				*3,52
5,72345	5,82	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 70; 105	120 (77)	1,553
8,16378	8,157	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 69; 166	182	*2,0
5,30205	5,330	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 71; 384	78	1,599
0,97270	0,96779	Wrede, Berzelius Jahresber., XXII.; 72		
	0,9678	Cruikshank, Gilb. Ann. 9; 116		⊙
1,52400	1,5245	Berzel. u. Dulong, Ann. d. Ch. et d. Ph. 15; 393		
	1,5201	Wrede, Berzel., Jahresber. XXII.; 72**)	0; 36 At.	⊙
4,10488	4,243	Ettling, Ann. d. Phys. 39; 160	125	0, . . .?
2,63945	2,6447	Gay-L., Ann. d. Ch. et d. Ph. I.; 218 u. 2; 135	46,6	1,269; 15,1
	2,668	Couërbe, Ann. d. Ch. et d. Ph. 61; 232.		
1,96078	2,000	Couërbe, Ann. d. Ch. et d. Ph. 69; 193	25 — 30?	0, . . . ?
2,38218	2,354	Couërbe, Ann. d. Ch. et d. Ph. 69; 194	50	0,709; 14
2,80358	2,802	Couërbe, Ann. d. Ch. et d. Ph. 69; 195	80 — 85	0,8022
3,22498	3,340	Couërbe, Ann. d. Ch. et d. Ph. 69; 197	100	0,821
3,64638	3,765	Couërbe, Ann. d. Ch. et d. Ph. 69; 199	135 — 140	0,835
2,66253	2,637	Couërbe, Ann. d. Ch. et d. Ph. 69; 201	65 — 70	0,7524
4,83315	4,94	Walter, Ann. der Phys. 52; 338	163; 760	0,851; 21
2,15822	2,201	Liebig, Ann. der Pharm. 16; 171	61 — 63 (758)	0,842; 15
	2,188	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 71; 391		
3,06338	2,873	Weidmann u. Schweizer 43; 618	63	0,808
2,87237				

**) Wrede hat zugleich gefunden, daß die Dichtigkeit der Kohlensäure (d. h. wie hier immer die Dichtigkeit derselben gegen die der atmosphärischen Luft unter gleichen Umständen) sich ändert mit Druck und Temperatur. Für einen anderen als den Nominalwerth des Druckes und der Temperatur ist die Dichtigkeit der Kohlensäure

$$= 1{,}5201 \left(\frac{1 + 0{,}0049 \,.\, p}{1 + \alpha t}\right)$$

und zwar, wenn bei den Berechnungen der Rudberg'sche Ausdehnungscoefficient der Luft zum Grunde liegt. Nimmt man statt dessen den von Regnault und Magnus gefundenen Coefficienten, so wird sie

$$= 1{,}52037 \left(\frac{1 + 0{,}0049 \,.\, p}{1 + \alpha t}\right).$$

I. Namen der Dämpfe und Gase	II. Zusammensetzung. Volume in Einem Vol.	III. Verdichtung	IV. At. auf 1 Vol.
185. Mesityloxyd	$C_3\ H_5\ O_{1/2}$	17:2	¹/₂
186. Mesityloxydhydrat (128)	$^1/_2\ C_3\ H_5\ O_{1/2} + {}^1/_2\ H\ O_{1/2}$	1:1	¹/₄
(187) + (277)	$C_3\ H_4 + H\ O_{1/2}$	3:2	
187. Mesitylen	$C_3\ H_4$	7:1	¹/₂
188. Methylal	$C_{3/2}\ H_4\ O$	13:2	¹/₄
189. Methylen	$C_{1/2}\ H$	3:2	¹/₄
190. Methylenchlorid	$C_{1/2}\ H\ Cl.$	5:2	¹/₄
191. Methyl	$C\ H_3$	4 1	¹/₂
192. Methylchlorid	$^1/_2\ C\ H_3 + {}^1/_2\ Cl$	1:1	¹/₄
193. Methylfluorid	$^1/_2\ C\ H_3 + {}^1/_2\ F$	1:1	¹/₄
194. Methyljodid	$^1/_2\ C\ H_3 + {}^1/_2\ J$	1:1	¹/₄
195. Methyloxyd (148)	$C\ H_3 + {}^1/_2\ O$	3:2	¹/₂
196. Methyloxydhydrat (149)			
197. M. ameisensaur.	$^1/_2\ C\ H_3\ O_{1/2} + {}^1/_2\ C\ H\ O_{3/2}$	1:1	¹/₄
198. M. benzoësaur.	$^1/_2\ C\ H_3\ O_{1/2} + {}^1/_2\ C_7\ H_5\ O_{3/2}$	1:1	¹/₄
199. M. essigsaur.	$^1/_2\ C\ H_3\ O_{1/2} + {}^1/_2\ C_2\ H_3\ O_{3/2}$	1:1	¹/₄
200. M. salpeters.	$^1/_2\ C\ H_3\ O_{1/2} + {}^1/_2\ N\ O_{5/2}$	2:1	¹/₄
201. M. schwefels.	$C\ H_3\ O_{1/2} + S_{1/6}\ O_{3/6}$	1:1	¹/₂
202. Methyloxydid A *)	$C\ H_2\ Cl\ O_{1/2}$	9:2	¹/₂
203. Methyloxydid B.	$C\ H\ Cl_2\ O_{1/2}$	9:2	¹/₂
204. Methyloxydid C.	$C_{1/2}\ Cl_{3/2}\ O_{1/4}$	9:4	¹/₄
205. Methylsulfid	$C\ H_3\ S_{1/6}$	25:6	¹/₂
206. Naphtha	$C_3\ H_5$	8:1	
207. Naphthalin	$C_5\ H_4$	9:1	¹/₄
208. Nelkensäure	$C_5\ H_6\ O_{5/4}$	49:4	¹/₄
209. Nitrobenzid	$C_{6/2}\ H_{5/2}\ N_{1/2}\ O$	7:1	¹/₄
210. Oelbildend. Gas (11. 123)			
211. Oleen (Oléène)	$C_3\ H_6$	9:1	¹/₄
212. Oenanthäther	$C_9\ H_{18}\ O_{3/2}$	57:2	¹/₂
(22) + 213)	$C_2\ H_5\ O_{1/2} + C_7\ H_{13}\ O$	2:1	
213. Oenanthsäure	$C_7\ H_{13}\ O$	21:1	¹/₂
214. Oenol (1. 129. 186)			
215. Oenyl (184)			
216. Orcin	$C_{18/4}\ H_{20/4}\ O_{5/4}$	43:4	¹/₄
217. Oxaläther	$C_3\ H_5\ O_2$	10:1	¹/₂
(22) + (218)	$C_2\ H_5\ O_{1/2} + C\ O_{3/2}$	2:1	
218. Oxalsäure	$C\ O_{3/2}$	5:2	¹/₂
219. Paranaphthalin	$(^3/_2\ C_5\ H_4)$	27:2	¹/₄
220. Paraffin	$C_{10}\ H_{21}$	31:1	¹/₄
221. Petrolen	$C_{10}\ H_{16}$	16:1	
222. Pfeffermünzstearopten	$C_5\ H_{10}\ O_{1/2}$	31:2	¹/₄
(181) + (227)	$C_5\ H_9 + H\ O_{1/2}$	1:1	
223. Pfefferöl	$C_5\ H_8$	13:1	¹/₂

*) Nr. 202 — 204 sind Regnault's Éther methylique mono-, bi-, tri-chloruré.

V. Dichtigkeit berechnet	VI. Dichtigkeit beobachtet	VII. Beobachter	VIII. Siedepunkt C°.	IX. Gewöhnlicher Zustand. Spec. Gew.
3,43267		Kane, Ann. der Phys. 44; 476	120	0, . . . ?
2,02189	2,019	Dumas, Ann. de Phys. 26; 191	56,6	0,7921
2,80337	2,914	Cahours, Ann. de Ch. et de Ph. 70; 103	135,5	0, ...
2,64199	2,625	Malaguti, Ann. d. Ch. et d. Ph. 70; 393	42,0; 761,5	0,8351
0,49020				
2,93053	3,012	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 71; 379	30,5	1,344; 18
1,04919				
1,74476	1,731	Dumas, Ann. de Phys. 36; 103		⊙
1,16907	1,186	Dumas, Ann. de Phys. 36; 138 und Ann. d. Ch. et d. Ph. 61; 194		⊙
4,87515	4,883	Dumas, Ann. de Phys. 36; 105	40 — 50	2,237; 22
1,60050	1,624	Dumas, Ann. de Phys. 36; 100		⊙
2,08300	2,084	Dumas, Ann. de Phys. 36; 119		0, ...
4,74896	4,717	Dumas, Ann. de Phys. 36; 120	198,5	1,1; 17
2,57319	2,563	Dumas, Ann. de Phys. 36; 117	58; 762	0,919; 22
2,66650	2,640	Dumas, Ann. de Phys. 36; 114	66	1,182; 22
4,36343	4,565	Dumas, Ann. d. Phys. 36; 108	188; 761	1,324; 22
3,97202	3,909	Regnault, Ann. de Ch. et de Ph. 71; 400	105	1,315; 20
6,34355	6,367	Regnault, Ann. d. Ch. et de Ph. 71; 402	130?	1,606; 20
4,35734	4,670	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 71; 403	100	1,594
2,13822	2,115	Regnault, Ann. d. Ch. et d. Ph. 71; 392	41	0,845; 21
2,87237	2,833	Saussure, Ann. de Ch. et de Phys. 4; 315	85,5	0,758; 19
4,48915	4,528	Dumas, Ann. de Phys. 26; 518	212	* 1,048
6,00500	6,4	Dumas (Concours p. 50)	153	
4,29097	4,40	Mitscherlich, Ann. der Phys. 31; 627	213	1,209; 15
2,94117	2,875	Fremy, Ann. de Ch. et de Ph. 65; 142	55	0, ...
10,47741	10,508	Liebig u. Pelouze, Ann. der Phys. 41; 575	225 — 230 (749)	0,862
7,89653				
5,51480	5,7	Dumas (Concours etc. p. 59)		*
5,07737	5,087	Dumas, Ann. de Ph. 12; 444	183 — 184	1,093; 7,5
1,49669				*
6,73372	6,741	Dumas, Ann. de Phys. 26; 525	300	*
9,87270	10—11,8	Lecoy, Ann. de Ch. et de Phys. Ser. III. V.; 398		*
9,52870	9,415	Boussingault, Ann. d. Ch. et d. Phys. 64; 146	280	0,981; 21
5,45325	5,62	Walter, Ann. d. Phys. 52; 336	213,5; 760	*
4,76435	4,73	Soubeiran u. Capitaine, Annalen der Pharm. 34; 326	167,5	0,864

I. Namen der Dämpfe und Gase	II. Zusammensetzung. Volume in Einem Volumen	III. Verdichtung	IV. At. auf 1 Vol.
224. Phosgengas	$C_{1/2}\ O_{1/2}\ Cl$	2 : 1	1/2
225. Phosphor	P		2
226. Phosphorchlorid	$^{1}/_{6}\ P + {}^{10}/_{6}\ Cl$	11 : 6	1/6
227. Phosphorchlorür	$^{1}/_{4}\ P + {}^{6}/_{4}\ Cl$	7 : 4	1/4
228. Phosphorwasserstoff	$^{1}/_{4}\ P + {}^{6}/_{4}\ H$	7 : 4	1/4
229. Ph. bromwasserst. (73)			
230. Ph. chlorwasserst. (101)			
231. Ph. jodwasserstoffs. (156)			
232. Quadricarburet (119)	$C_2\ H_4$	6 : 1	
233. Quecksilber	Hg		1/2
234. Quecksilberbromid	$Hg + Br$	2 : 1	1/2
235. Quecksilberbromür	$Hg + {}^{1}/_{2}\ Br$	3 : 2	1/4
236. Quecksilberchlorid	$Hg + Cl$	2 : 1	1/2
237. Quecksilberchlorür	$Hg + {}^{1}/_{2}\ Cl$	3 : 2	1/4
238. Quecksilberjodid	$Hg + J$	2 : 1	1/2
239. Quecksilbersulfid (289)	$^{6}/_{9}\ Hg + {}^{1}/_{9}\ S$	7 : 9	1/3
240. Retinnaphtha	$C_{7/2}\ H_4$	15 : 2	1/4
241. Retinöl	$C_8\ H_8$	16 : 1	1/4
242. Retinyl	$C_{9/2}\ H_6$	21 : 2	1/4
243. Salicyl	$C_7\ H_5\ O_2$	14 : 1	1/4
244. Salicylhydrür	$^{1}/_{2}\ C_7\ H_5\ O_2 + {}^{1}/_{2}\ H$	1 : 1	1/4
245. Salmiak (32)			
246. Salpeteräther	$C\ H_{5/2}\ O\ N_{1/2}$ $^{1}/_{2}\ C_2\ H_5\ O_{1/2} + {}^{1}/_{2}\ NO_{3/2}$	5 : 1 1 : 1	} 1/8
247. Salpetersäure, salpetrige. (261) + 1/2 (249)	$^{1}/_{2}\ N + O$ $N_{1/2}\ O_{1/2} + {}^{1}/_{2}\ O$	3 : 2 3 : 2	} 1/4
248. Salpetersäure, wasserhaltige	$^{2}/_{5}\ N_{2/3}\ O_{5/4} + {}^{4}/_{5}\ H\ O_{1/2}$	6 : 5	1/10
249. Sauerstoff	O		1
250. Schwefel	S		3
251. Schwefelchlorid, schwefels.	$S_{0{,}2}\ Cl_{0{,}6}\ O_{1{,}5}$ $^{1}/_{5}\ S_{1/6}\ Cl_{18/6} + S_{1/6}\ O_{9/6}$	23 : 10 6 : 5	} 1/10
252. Schwefelchlorür	$^{1}/_{3}\ S + Cl.$	4 : 3	1
253. Schwefelkohlenstoff (113)			
254. Schweflige Säure	$^{1}/_{6}\ S + O$	7 : 6	1/2
255. Schwefelsäure	$^{1}/_{6}\ S + {}^{9}/_{6}\ O$	5 : 3	1/2
256. Schwefelwasserstoff	$^{1}/_{6}\ S + H$	7 : 6	1/2
257. Selen	Se		1
258. Selenige Säure	$^{1}/_{2}\ Se + O$	3 : 2	1/2
259. Selenwasserstoff	$^{1}/_{2}\ Se + H$	3 : 2	1/2
260. Stickstoff	N		1
261. Stickstoffoxyd	$^{1}/_{2}\ N + {}^{1}/_{2}\ O$	1 : 1	1/4

V. Dichtigkeit berechnet	VI. Dichtigkeit beobachtet	VII. Beobachter	VIII. Siedepunkt C°.	IX. Gewöhnlicher Zustand. Spec. Gew.
3,41302		J. Davy, Philos. Transact. 1812. 150		⊙
4,32562	4,58	Mitscherlich, Ann. d. Ph. 29; 218	290	*1,77
	4,388	Dumas, Ann. d. Phys. 25; 399		
4,78815	4,85	Mitscherlich, Ann. d. Ph. 29; 221		*
4,74190	4,875	Dumas, Ann. de Ph. 9; 307	78	1, ...
1,18460	1,147	H. Rose, Ann. d. Phys. 24; 121		⊙
1,18460	1,147	Faraday, Ann. der Phys. 5; 316	— 17,8	⊙
6,97848	7,03	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 219	360	13,557 ; 17
	6,976	Dumas, Ann. de Phys. 9; 306		
12,37185	12,16	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 224		*
9,67516	10,11	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 224		*
9,41881	9,8	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 223		*
8,19864	8,35	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 223		*
15,67959	16,2	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 224		*
5,39167	5,95	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 223		*
3,22496	3,23	Walter, Ann. der Phys. 44; 90	108; 760	0,86
7,29272	7,11	Walter, Ann. der Phys. 44; 101	238	0,9
4,20536	4,244	Walter, Ann. der Phys. 44; 97	150	0,87
8,44873				
4,25876	4,276	Piria, Ann. d. Ch. et d. Ph. 69; 292	196,5; 760	1,1731 ; 13,5
2,60539	2,626	Dumas, Ann. de Phys. 12; 443	21 ; 758	0,886 ; 4
1,59060	1,715	Mitscherlich, Ann. d. Phys. 29; 220	28	1,42
1,24258	1,273	Bineau, Ann. de Ch. et de Ph. 68; 418	?	1, ...
	1,1057	Dumas u. Staß, Ann. de Ch. et de Ph. Ser. III. No. I.		
	1,1056	Saussure, Ann. de Chimie. 71; 260		⊙
	1,1052	Wrede, Berzel., Jahresber. XXII.; 37.		
6,65415	6,90	Mitscherlich, Ann. d. Phys. 29; 217	400?	*2,087
	6,551	Dumas, Ann. de Phys. 26; 559		
4,44890	4,481	H. Rose, Ann. der Phys. 46; 171	145	1, ...
4,65838	4,70	Dumas, Ann. d. Ch. et d. Ph. 49; 204	138	1,687
2,21162	2,247	Berzelius, Schweiggers Jahresbericht, 23; 116	— 10	⊙ (1,42)
2,76292	3,01	Mitscherlich, Ann. d. Phys. 29; 220		*1,95; 13
1,17782	1,1912	Gay u. Thénard, Recherches phys.-chem. 1; 191		⊙
5,45326				*
3,82923	4,03	Mitscherlich, Ann. der Phys. 29; 226		*
2,79543		Bineau, Ann. de Ch. et de Ph. 68; 424		⊙
	0,972	Dumas, Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. III; 277		⊙
1,03930	1,0388	Berard, Ann. d. Chym. et de Ph. 1; 218		⊙

I. Namen der Dämpfe und Gase	II. Zusammensetzung. Volume in Einem Vol.	III. Verdichtung	IV. At. auf 1 Vol.
262. Stickstoffoxydul	$N + \frac{1}{2} O$	3 : 2	½
263. Suberon	$C_4 H_7 O_{1/2}$	23 : 2	½
264. Sumpfgas	$\frac{1}{2} C + 2 H$	5 : 2	⅛
265. Tellur	Te		1
266. Tellurwasserstoff	$Te_{1/2} H$	3 : 2	½
267. Tereben	$C_5 H_8$	13 : 1	¼
268. Terebilen	$C_5 H_8$	13 : 1	¼
269. Terpentinöl	$5 C + 8 H$	13 : 1	¼
270. Titan	Ti		1
271. Titanchlorür	$\frac{1}{2} Ti + 2 Cl$	5 : 2	½
272. Trityl			
273. Urethan	$C_{3/2} H_{7/2} N_{1/2} O$	13 : 2	¼
(93) + (33) — (98)	$C_{3/2} H_{5/2} Cl_{1/2} O + H_{3/2} N_{1/2} - H_{1/2} Cl_{1/2}$	1 : 1	
274. Valerianäther	$C_{8/2} H_7 O$	23 : 2	½
½ (22) + ½ (275)	$\frac{1}{2} C_2 H_5 O_{1/2} + \frac{1}{2} C_5 H_9 O_{3/2}$	1 : 1	
275. Valerianäther	$\frac{1}{4} (C_{10} H_{18} O_3 + 2 H O_{1/2})$	3 : 4	¼
276. Wachholderöl	$C_5 H_8$	13 : 1	½
277. Wasser	$H + \frac{1}{2} O$	3 : 2	½
278. Wasserstoff	H		1
279. Wismuth	Bi		1
280. Wismuthchlorid	$\frac{3}{4} Bi + \frac{9}{4} Cl$	9 : 4	¾
281. Weinöl A.	$C_4 H_8$	12 : 1	
282. Weinöl B.	$C_{10} H_{16}$	16 : 1	
282. Xanthil	$C_4 H_{10} O_3$	17 : 1	½
284. Xanthin	$C H O S_{1/3}$	10 : 3	½
285. Xylit	$C_{3/2} H_3 O_{5/8}$; $\frac{1}{2} C H_3 O_{1/2} + \frac{1}{2} C_2 H_3 O_{3/4}$	1 : 1	
286. Xylitnaphtha	$C_3 H_6 O_{3/4}$	39 : 4	
	$C H_3 O_{1/2} + C_2 H_3 O_{1/4}$	2 : 1	
287. Zinn	Sn		1
288. Zinnchlorid	$\frac{1}{2} Sn + 2 Cl$	5 : 2	½
289. Zinnober (239)			

V. Dichtigkeit berechnet	VI. Dichtigkeit beobachtet	VII. Beobachter	VIII. Siedepunkt C°.	IX. Gewöhnlicher Zustand. Spec. Gew.
1,52730	1,5204	Ann. d. Ch. et d. Ph. 1; 218		⊙
4,40406	4,392	Boussingault, Comptes rendus, 2; 78	186	?
0,55900	0,555	Thomson, Bibl. Britann. 55; 123		⊙
8,84419				*
4,49089		Bineau, Ann. de Ch. et de Ph. 68; 424		⊙
4,76435	4,812	Deville, Annales de Ch. et de Phys. 75; 41	135	0,863; 8
4,76435	4,767	Deville, Annales de Ch. et de Phys. 75; 75		0,843; 21
4,76435	4,765	Dumas, Ann. d. Phys. 26; 535	156	0,86; 22
3,34844				*
6,55488	6,836	Dumas, Ann. d. Ph. 9; 438	135; 763	1, ...
3,09558	3,14	Dumas, Ann. de Ph. 31; 647	180	*
4,53397	4,558	Otto, Ann. d. Pharm. 27; 225	133,5	0,894; 13
3,55357	3,67	Dumas u. Staß, Ann. de Ch. et de Ph. 73; 133	175	0,937; 10
4,76435	4,84	Soubeiran und Capitaine, Ann. der Pharm. 34; 325	155—63	0,847
0,62010	0,6235	Gay, Ann. d. Ch. et d. Ph. 2; 135	100	1,000
	0,0691	Dumas, Ann. de Ph. 57; 150 *)		⊙
9,77915				*
10,99486	11,16	Jacquelain, Ann. de Ch. et de Phys. 66; 131		*
3,92156	3,965	Masson, Ann. de Ch. et de Ph. 69; 256	100—x	0, ...
9,52870	9,476	Regnault, Ann. de Ch. et de Phys. 71; 413	285	0,897; 17
3,68348	3,564	Couërbe, Ann. der Pharm. 40; 293	130	0,894
4,232?	?	Couërbe, Ann. der Pharm. 40; 299		⊙
2,15971	2,177	Weidmann u. Schweizer, Ann. der Physik 49; 156	61,5	0,816
3,76812	3,94	Weidmann u. Schweizer, Ann. der Phys. 49; 399	110	0, ...
8,10735				*
8,93433	9,1997	Dumas, Ann. de Chimie. 435	120; 767	2,25?

*) Nicht unmittelbar gewägt, sondern berechnet aus dessen Analyse des Wassers, der gemäß dasselbe, dem Gewichte nach, genau aus 8 Sauerstoff und 1 Wasser besteht.

Poggendorff.

Die Benutzung des Dampfes ist gemäß den verschiedenen Eigenthümlichkeiten des Dampfes eine sehr verschiedene. Seine Leichtigkeit und expansible Beschaffenheit wird benutzt, um verschiedene mit einander gemengte Stoffe dadurch von einander zu trennen, daß man den einen in Dampf verwandelt, während der andere in fester oder flüssiger Gestalt zurückbleibt. Dies geschieht beim Abdampfen und bei der Destillation, so wie beim Trocknen (s. d. Art.). Von der Elasticität des Dampfes macht man Gebrauch, indem man den Dampf zum Auflockern und Auflösen von Substanzen benutzt, so wie indem man ihn als Beweger von Maschinen anwendet. Von der letzten Art der Anwendung werden wir in dem Artikel Dampfmaschinen sprechen. Endlich aber hat man die Eigenthümlichkeit des Dampfes, bei seiner Umwandlung in tropfbare Flüssigkeit Wärme zu entbinden, benutzt, um Wärme seinen Umgebungen mitzutheilen. Die großartigste Benutzung des Dampfes in dieser Beziehung soll im Artikel Heizung besprochen werden.

Wenn man einen Körper in eine Dampfatmosphäre (allseitige Umgebung von Dampf) bringt, so dringt der Dampf vermöge seiner Elasticität in alle Poren des Körpers ein und übt gegen die kleinsten Theile desselben nach allen Seiten einen gleichmäßigen Druck aus, zugleich erhöht er aber auch vermöge seiner eigenen höheren Temperatur den Warmezustand desselben bis in die kleinsten Theile und dehnt ihn mithin aus. Hierauf beruht die Auflockerung, welche ein solcher Körper durch den Dampf erfährt. Finden sich in dem Körper Bestandtheile, welche im Wasser löslich sind oder in der höheren Temperatur sich verwandeln, so werden diese durch die Behandlung im Dampf aufgelöst. Der Dampf wirkt auch, abgesehn von seiner eindringenden Kraft, schon darum viel energischer als Wasser, weil man ihm eine den Siedepunkt des Wassers übersteigende Temperatur nach Belieben ertheilen kann. Hierauf beruht die Anwendung des Dampfes zum Ausziehen der Pigments aus Farbhölzern, der Gallerte aus Knochen, zum Bleichen der Leinwand ꝛc.

Als Mittel zur Erwärmung kann man den Dampf besonders deshalb bequem benutzen, weil er sich vermöge seiner ausdehnsam flüssigen Beschaffenheit leicht an jeden beliebigen Ort hinleiten läßt. So wie der heiße Dampf in Berührung mit einem kälteren Körper kommt, condensirt er sich und theilt dem kälteren Körper sowohl von seiner freien als von seiner latenten, nunmehr auch frei werdenden Wärme mit. In der Technik bedient man sich häufig metallener hohler Cylinder zum Appretiren verschiedener Stoffe, in welche ein glühendes Eisen geschoben wird. Diese Cylinder kann man auch dadurch erhitzen, daß man heißen Dampf durch sie hindurch leitet. Man kann den Dampf sehr wohl zur Erwärmung von Flüssigkeiten gebrauchen, entweder, indem man ihn in verschlossenen Röhren durch diese hindurch leitet, oder, indem man ihn aus offenen Röhren in die Flüssigkeit geradezu eintreten läßt. Führt man z. B. Wasserdampf durch eine Röhre in ein Gefäß mit kaltem Wasser und läßt ihn in dieses einströmen, so verwandelt er sich selbst in Wasser und zugleich erhält die gesammte Wassermasse nach und nach eine höhere Temperatur. Zur Ausführung dieser Operation bedient man sich tiefer Gefäße, z. B. von Holz, in welche das Wasser kommt und die Dampfröhre bis nahe an den Boden hinabgeleitet wird. Der Proceß, welcher hierbei vor sich geht, läßt sich leicht berechnen. Nämlich unter der Voraussetzung, daß 1 Pfund Wasserdampf von irgend einer Temperatur so viel Wärme enthalte als dazu gehört, um

520 Pfund Wasser um 1° R. zu erwärmen, und wenn im Allgemeinen W das Gewicht des zu erwärmenden Wassers, t die Temperatur desselben, T die Temperatur, bis zu welcher es erhitzt werden soll, und S das Gewicht des Dampfes bezeichnet: $S = \frac{T - t\ W}{520 - T}$. Sollen z. B. 1000 Pfund Wasser von 10° R. zum Sieden gebracht werden, also auf 80° R., so sind $\frac{80 - 10}{520 - 80} . 1000 = 159{,}1$ Pfund Dampf, welcher in das Wasser eingeführt werden muß, um solches zu bewirken. Dividirt man mit der in Minuten ausgedrückten Zeit, während welcher die Erwärmung geschieht, in die Anzahl der Pfunde Dampf, so erhält man eine Zahl, welche ergiebt, wie viel Mal 10 Quadratfuß Fläche der Dampfkessel enthalten muß, um die erforderliche Dampfmenge zu liefern. Soll also z. B. die bezeichnete Wassermenge in 12 Minuten ins Sieden gebracht werden, so muß die Fläche des Dampfkessels $\frac{159{,}1}{12} . 10 = 132{,}6$ Quadratfuß betragen. Bezeichnet F die Fläche des Dampfkessels zwischen Wasser und Feuer, welche die erforderliche Menge Dampf liefern soll, um W Pfunde Wasser von der Temperatur t auf die Temperatur T (Grade Reaumur) in Zeit von M Minuten zu bringen; so ist $F = \frac{10\ (T - t)\ W}{(520 - T)\ M}$. Bei offenen Gefäßen kann die Erwärmung des Wassers stets nur höchstens bis zum Siedepunkte $(T = 80)$ geschehen. Will man das Wasser auf höhere Temperaturen erhitzen, so muß das Gefäß dampfdicht verschlossen sein und um den Druck zu reguliren, mit einem Sicherheitsventile versehen sein. Man bedient sich gern der hölzernen Gefäße, weil Holz ein schlechter Wärmeleiter ist und daher nicht so viel Wärme durch die Wände des Gefäßes verloren geht, als es z. B. bei metallenen Gefäßen der Fall ist. Wenn der heiße Dampf in das noch kalte Wasser eintritt, so verwandelt er sich plötzlich in Wasser; die Folge hiervon ist ein mit Erschütterungen verbundenes Schlagen in den Gefäßen. Um dieses zu vermeiden, muß man die Mündung des den Dampf in das Wasser leitenden Rohres trichterförmig erweitern.

Dampfgeschütz *) heißt im Allgemeinen jeder Apparat, mit welchem, durch Einwirkung des Wasserdampfes, Projectile geworfen werden können. Die Mitwirkung des Dampfes kann dabei eine directe oder indirecte sein. Man kann nämlich entweder die große Expansivkraft des Dampfes bei höheren Temperaturen unmittelbar an die Stelle der, aus dem explodirenden Schießpulver entwickelten Gasarten, oder der stark comprimirten Luft bei Windbüchsen treten lassen, und folglich den Dampf direct als Beweger des Projectils anwenden. Oder man kann sich damit begnügen, einen Apparat zu construiren, der die Arbeitsgröße, welche eine Dampfmaschine entwickelt, in sich aufnimmt, und dazu verwendet, einem Projectile die gehörige Geschwindigkeit zu ertheilen. Diese letztere Art der

*) Da in Deutschland die Dampfgeschütze weniger Beachtung gefunden haben, als sie in der That verdienen; und weil die Literatur darüber ebenso mangelhaft als selten ist: so glaubt der Verfasser keinen Tadel zu verdienen, wenn er diesen Artikel sorgfältiger und erschöpfender behandelte, als bisher geschehen ist. Anm. d. Verf.

Auffassung gehört der neueren Zeit an, und wir werden am Schluß darauf zurückkommen. Der Name Dampfgeschütz gebührt aber mit Recht nur den Apparaten, bei welchen der Dampf unmittelbar die Stelle des Schießpulvers oder der comprimirten Luft einnimmt.

Ein kurzer historischer Rückblick wird uns zeigen, daß die Idee, die Expansivkraft des Wasserdampfes auf diese Art zu benutzen, schon ziemlich alt ist. Es sei hier zuerst das Werk des Marquis von Worcester erwähnt *), das unter dem Titel: „Century of Inventions" allgemein bekannt ist. In diesem vielbesprochenen Buche befindet sich jene bekannte Stelle, welche von den Engländern auf die mannichfaltigste Weise ausgebeutet worden ist, um daraus zu beweisen, daß der Marquis von Worcester der Erfinder der Dampfmaschine sei, und daß folglich der englischen Nation die Ehre dieser Erfindung gebühre **). Diese berühmte Stelle, soweit sie hierher gehört, lautet ***):

„Ich füllte eine ganze Kanone, deren Mündung abgebrochen war, bis auf drei Viertheile mit Wasser, schloß die geborstene Mündung und das Zündloch durch Schrauben und ließ ein beständiges Feuer darunter brennen. Nach 24 Stunden sprang die Kanone mit großem Knalle in Stücke." — Auf diesen Fundamentalversuch baute der Marquis von Worcester nun einige dunkle Folgerungen, welche, trotz der Bemühungen von Partington ****) und seiner Landsleute, den unbefangenen Beurtheiler nur überzeugen können, daß der Marquis von Worcester nicht der Erfinder der Dampfmaschine ist. Mit viel mehr, oder wenigstens demselben Recht könnte man ihn als Erfinder der Dampfkanone nennen, wenn nicht Arago *****), der die englische Anmaßung der Priorität der Erfindung der Dampfmaschine mit ebenso viel Geist als Glück bekämpfte, dem Marquis von Worcester auch den Ruhm genommen hätte, der Erfinder der Dampfkanone zu sein. Arago führt an †), daß schon im Jahre 1605 Florence Rivault ausdrücklich gesagt habe, daß die Dampfkugeln mit Krachen bersten, wenn man das Entweichen der Dämpfe hindere; und daß derselbe hinzufüge: „Die Wirkung der Verdampfung des Wassers ist im Stande, die festesten Leute zu entsetzen" ††). Eine ganz ähnliche Stelle findet sich in Salomon de Caus †††), vom Jahre 1615, also 50 Jahre vor Worcester's sogenannter Erfindung.

Papin schlug im Jahre 1688 bereits vor, die Elasticität des Wasserdampfes statt des Schießpulvers zum Fortschleudern der Geschützkugeln zu benutzen, so wie Papin auch umgekehrt das Schießpulver statt des Dampfes zur Erzeugung eines luftleeren Raumes anzuwenden vorschlug ††††), eine Idee, die er später zu Gunsten des Dampfes zurücknahm.

---

*) The scantling of one hundred Inventions. 1663.

**) Siehe den Art. Dampfmaschine.

***) Worcester, im angeführten Werk, 68. Erfindung.

****) Partington's Ausgabe von Worcester's „Century of Inventions" 1825.

*****) In den Notices scientifiques, der Annuaires du Bureau de Longitude, 1829 und 1837.

†) Siehe auch Montgéry, in seiner historischen Abhandlung über alle Maschinen, bei welchen das Feuer wirksam ist.

††) Florence Rivault, Elements d'artillerie. Paris 1605. p. 128.

†††) Les raisons des forces mouvantes, 1. Buch.

††††) Acten von Leipzig, für das Jahr 1688.

Vauban verfolgte Papin's Angaben, im Jahre 1707, und führte sie weiter aus *). Er wollte nach seinen Beobachtungen gefunden haben, daß 140 Pfd. Wasser, in Dampf verwandelt, eine Kraft ausüben (produissent une explosion), welche fähig sei, eine Masse von 77,000 Pfd. zu bewegen (de faire sauter), während eine gleiche Quantität Pulver einen ähnlichen Effect nur auf eine Masse von 30,000 Pfd. ausüben könne. Folglich sei die „Kraft" des Wasserdampfes mehr als das Doppelte von der des Schießpulvers. — Diese Angabe beruht auf falschen Voraussetzungen und ebenso falschen Beobachtungen. Abgesehen davon, daß Vauban von dem Maß der lebendigen Kräfte keine Vorstellung hatte, da er nicht angiebt, mit welcher Geschwindigkeit jene 77,000 Pfd. gehoben werden können, so scheint er auch offenbar von der Voraussetzung ausgegangen zu sein, daß seine 140 Pfd. Wasser auf einmal verdampfen, also explodiren sollen! — Der Graf von Rumford **) verfiel 1797 in das andere Extrem, indem er finden wollte, daß das entzündete, eng eingeschlossene Schießpulver mit einer Kraft von 9431 — 54750 Atmosphären wirke, je nachdem 12 Gran bis 26 Gran Schießpulver explodirten. Er ging bei dieser übertriebenen Angabe noch von der Idee aus, daß diese erstaunlichen Wirkungen des Pulvers hauptsächlich von den, bei dem Verbrennen daraus entwickelten Wasserdämpfen herrühren. Rumford's Versuche wurden noch im Jahre 1825 in England ***) als Autorität, und zum Beweis angeführt, daß die Dampfkraft niemals die des Pulvers erreichen, folglich der Dampf das Schießpulver nie ersetzen könne, während Rumford's Theorie im Gegentheil dem Wasserdampf sogar eine bedeutendere Rolle zuschrieb, als er verdiente.

Im Jahre 1745 soll bereits zu Kensington eine Dampfkanone probirt worden sein, welche in 2 Minuten 25 Mal abgefeuert wurde ****). Doch hörte man seitdem von dieser Erfindung Nichts weiter.

Es war dem großen Watt vorbehalten, der das ganze Gebiet der Wirksamkeit des Dampfes theils voraussah, theils selbst beherrschte, auch in der Erfindung des Dampfgeschützes den ersten bedeutenden Schritt zu thun *****). Watt ließ durch Hornblower eine Dampfrakete verfertigen, die im Wesentlichen dieselbe Einrichtung hatte, als das viel später erfundene erste Wurfgeschoß von Perkins, welches sich Letzterer 1824 patentiren ließ, und weiter unten beschrieben werden soll. Aber Watt blieb dabei nicht stehen, sondern soll 1805 zuerst die Anwendung von Dampfgeschützen zur Vertheidigung der Festungen vorgeschlagen und versucht haben. Auch der französische General Girard verband schon mit einem beweglichen, auf Rädern stehenden Dampfkessel 6 Flintenröhre, deren hinterer Theil eine Kugel und die erforderliche Menge Wasserdampf als Motor aufnehmen konnte. In jeder Minute konnten 180 Schuß geschehen. Im Jahre 1814 waren eine Anzahl dieser Maschinen zur Vertheidigung von Paris bestimmt, deren

*) Mémoires de l'Académie des sciences pour l'année 1707.

**) Philosophical Transactions vom Jahre 1797.

***) Mechanics Magazine 1825. No. 65. p. 141. und Dingler's Journal 1825. Bd. XVI. S. 261.

****) Mechanics Magazine 1827. No. 184. p. 135.

*****) Siehe darüber: v. Hoyer, System der Brandraketen, mit einem Anhang über Perkins' Dampfgeschütz. Leipzig 1827.

jede zwei Karren mit Kugeln und Feuerung bei sich führte. Allein sie wurden sämmtlich vor dem Einrücken der Alliirten vernichtet. —

Auf diese Grundzüge beschränken sich wesentlich die Versuche zweier Jahrhunderte, den Dampf zum Werfen von Projectilen zu verwenden. Diese Versuche, so nahe sie auch mit den neuesten Erfahrungen übereinstimmen, blieben dennoch ohne entscheidende Gültigkeit, weil man entweder früher nicht wagte, Dampf von der erforderlichen hohen Spannung anzuwenden, oder weil man schon damals mit demselben Hinderniß kämpfte, das auch heute noch nicht beseitigt ist, — nämlich, den Dampf in dieser Spannung constant zu erhalten.

Die großartige Verbreitung, welche in den zwanziger Jahren die Anwendung des Dampfes als motorische Kraft gewann; die Benutzung des Dampfes zur Bewegung der Schiffe und Wagen, und zu hundert andern Zwecken, brachte manches vergessene Problem wieder in Anregung, so daß die damaligen Journale von Verbesserungen und Patenten wimmeln — die jetzt längst vergessen sind. Der Dampf sollte Universalmittel sein, von dem man sich Unglaubliches versprach. —

Unter der Menge der Propheten des Dampfes, ragte der Amerikaner Perkins als eigenthümliche Erscheinung hervor. Schon damals behauptete man, was man jetzt wohl mit mehr Recht sagen kann: „Daß man an Dampfmaschinen nichts Neues mehr erfinden könne." Perkins bewies das Gegentheil. Er war unermüdlich und ist es noch heute, den Zweiflern zu beweisen, daß man wohl noch Neues bringen könne — womit allerdings nicht gesagt ist, daß das Neue auch das Bessere sei. — Die Geschichte der Perkins'schen Erfindungen allein böte schon Stoff zu einer umfangreichen Monographie *), die auch von physikalischer Seite von Interesse wäre. Perkins wagte es, dem Dampf eine außerordentlich hohe Spannung zu ertheilen. Mit Hülfe seines Generators, den er an die Stelle der bisherigen Kessel treten ließ (ein Eisencylinder mit 3 Zoll starken Wänden, der ganz mit Wasser angefüllt, völlig in einen Ofen eingeschlossen und durch Gebläsefeuer rothglühend erhalten wurde. Das, mit einer Compressionspumpe unter 30 bis 50 Atmosphärendruck ausgepreßte Wasser, verwandelte sich in einer besonderen Dampfkammer augenblicklich in Dampf von sehr hoher Spannung), arbeitete er gewöhnlich mit einem Druck von 800 Pfd. auf den Quadratzoll, d. h. mit circa 50 Atmosphären. Doch trieb er es bis zu 1400 Pfd. oder 100 Atmosphärendruck, und schrieb an Dr. Jones **), den Herausgeber des Franklin Journal: „Ueber ein Jahr hoffe ich mit Ihnen an der Seite eines Generators zu sitzen, der einen Druck von 3000 Pfd. auf den Quadratzoll aushält." —

Diese kühnen Versuche, wenn sie auch übertrieben waren, mußten eine momentane Umgestaltung der bisherigen Anschauungsweise hervorbringen. Und in der That verdanken wir Perkins eine Reihe von Erfindungen von bleibendem Werth, unter welchen die der Hochdruck-Wasserheizung oben ansteht ***).

Man hatte den Verfechtern des Princips der Dampfgeschütze bisher immer vorgeworfen, daß die Erzeugung des dazu erforderlichen hohen Druckes gefährlich sei, wenn sie überhaupt möglich wäre. Perkins beseitigte diesen Einwurf, und

---

*) Siehe d. Art. Dampfmaschine.

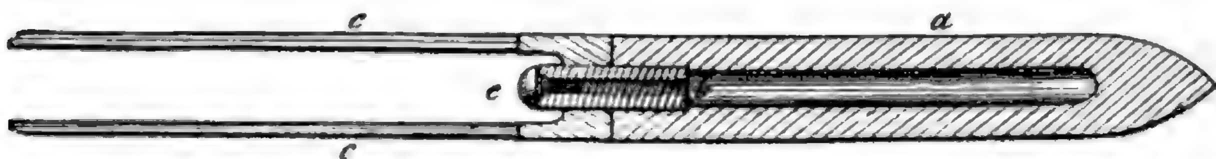
**) Technical Repository, Oktbr. 1827. p. 249. Im Auszuge in Dingler's Journal 1827. Bd. XXVI. S. 387.

***) Siehe d. Art. Heizung.

damit war zugleich die Aussicht auf eine neue Reihe von Versuchen über das Dampfgeschütz eröffnet, Versuche, die noch heute fortgesetzt werden, so daß man dieses Thema weder für erledigt, noch für beseitigt ansehen kann.

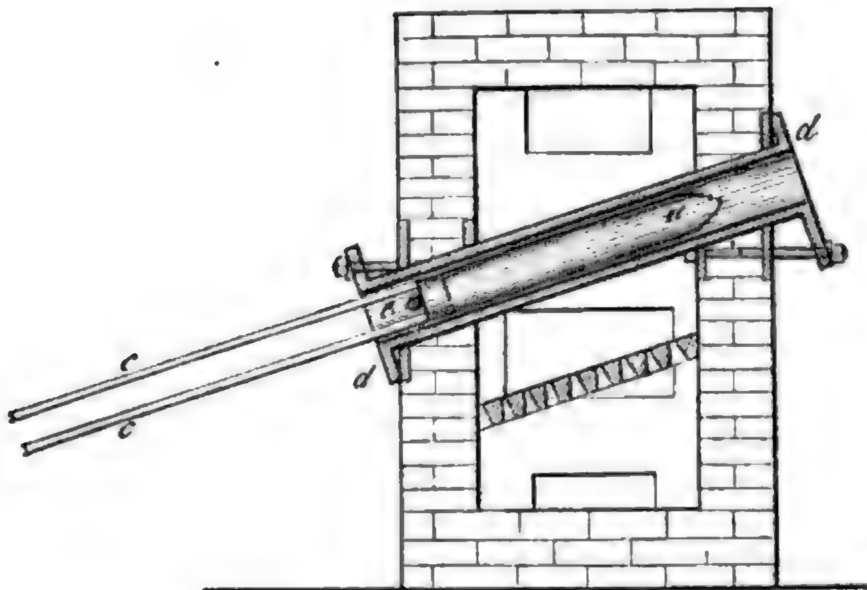
Perkins begann damit, sich am 24. Mai 1824 ein Patent ertheilen zu lassen, auf eine verbesserte Methode, Bomben und anderes Wurfgeschütz zu werfen *). Dieses Dampfwurfgeschoß war factisch nichts Anderes, als die von Watt u. Hornblower erfundene Dampfrakete, nur daß Perkins das Princip seines Generators darauf anwendete. Jedenfalls ist nicht anzunehmen, daß Perkins die Watt'schen Versuche nicht gekannt haben sollte. Die Methode besteht darin, daß eine kleine Menge Wasser in ein Gefäß aus geschlagenem Eisen, das die Form einer Rakete hat, luftdicht eingeschlossen ist, und daß dieser hohle mit Wasser vollgefüllte Cylinder so lange erhitzt wird, bis ein Metallpfropfen an dem hintern Theil des Hohlcylinders schmilzt, welcher die Oeffnung verschloß, durch welche das Wasser eingefüllt wurde, und der die Stelle der gebohrten Seele an den Brandraketen vertritt. Das Bestreben des überhitzten Wassers, sich auszudehnen, treibt den Pfropf mit großer Gewalt aus der Oeffnung, das Wasser tritt aus und verwandelt sich an der Luft augenblicklich in Dampf von hoher Spannung, welcher gegen die Atmosphäre einen solchen Druck ausübt, daß vermöge der Reaction der Eisencylinder vorwärts getrieben wird, ebenso wie die Brandrakete durch den Strahl der brennenden, sich expandirenden Gase. Statt des gewöhnlichen Raketen-Stockes werden an den Eisencylinder zwei parallele Leitungsstangen angebracht.

In nachstehender Fig. zeigt a die Rakete, oder den hohlen Cylinder aus geschlagenem Eisen. Ein kleiner im Centrum ausgebohrter eiserner Cylinder b ist an dem



Ende des Raketencylinders eingeschraubt. An dieser Schraube ist zugleich der Schweif der Rakete mit den beiden Leitungsstangen cc angebracht. Nachdem nun der Cylinder a mit Wasser vollkommen gefüllt ist, wird b eingeschraubt, durch die Durchbohrung von b noch Wasser nachgefüllt und diese Durchbohrung dann durch einen eingeschlagenen Pfropfen e von Messing so vernietbet, daß das Wasser schon comprimirt wird. Nun kommt, nachdem der Schweif mit den Leitstangen angeschraubt ist, die Rakete in einen Ofen, wie umstehende Figur zeigt. Ein an beiden Seiten offener Cylinder d aus Gußeisen wird in den Ofen, nach Perkins, in schiefer Richtung eingemauert, und dient zur Aufnahme der Rakete, die locker hineinpaßt. Besser wäre es wohl, den Cylinder d nicht einzumauern, sondern hinten mit einem Charnier, vorn mit Stellschrauben zu versehen, um den Cylinder, wie einen Kanonenlauf, beliebig eleviren und plongiren zu können. Wegen der Richtung im Azimuth könnte der Ofen aus Blech sein, mit Rädern construirt, und wie eine Drehbasse gerichtet werden. Der Cylinder d wird rothglühend gemacht und theilt seine Hitze

*) London Journal of Arts No. 55. p. 418. Dingler's Journal 1825. Bd. XVIII. S. 313.



der eingefügten Rakete a mit, bis der messingene in b vernietete Pfropfen e schmilzt, durch das überhitzte Wasser ausgetrieben und durch die Reaction des sich nunmehr entwickelten Dampfes die Rakete vorwärts getrieben wird. Je nachdem die reagirende Gewalt, welche direct mit der Temperatur wächst, größer oder geringer sein soll, kann man den Pfropfen aus einem leichter oder schwerer schmelzenden Metall verfertigen, dessen Schmelztemperatur, und mithin auch der Druck, unter welchem der Dampf bei dieser Temperatur wirkt, genau bekannt sein muß. Perkins beschränkte sich blos auf die Beschreibung dieser Dampfrakete, doch leuchtet von selbst ein, daß man dieses Princip auf jede Art von Wurfgeschütz anwenden kann.

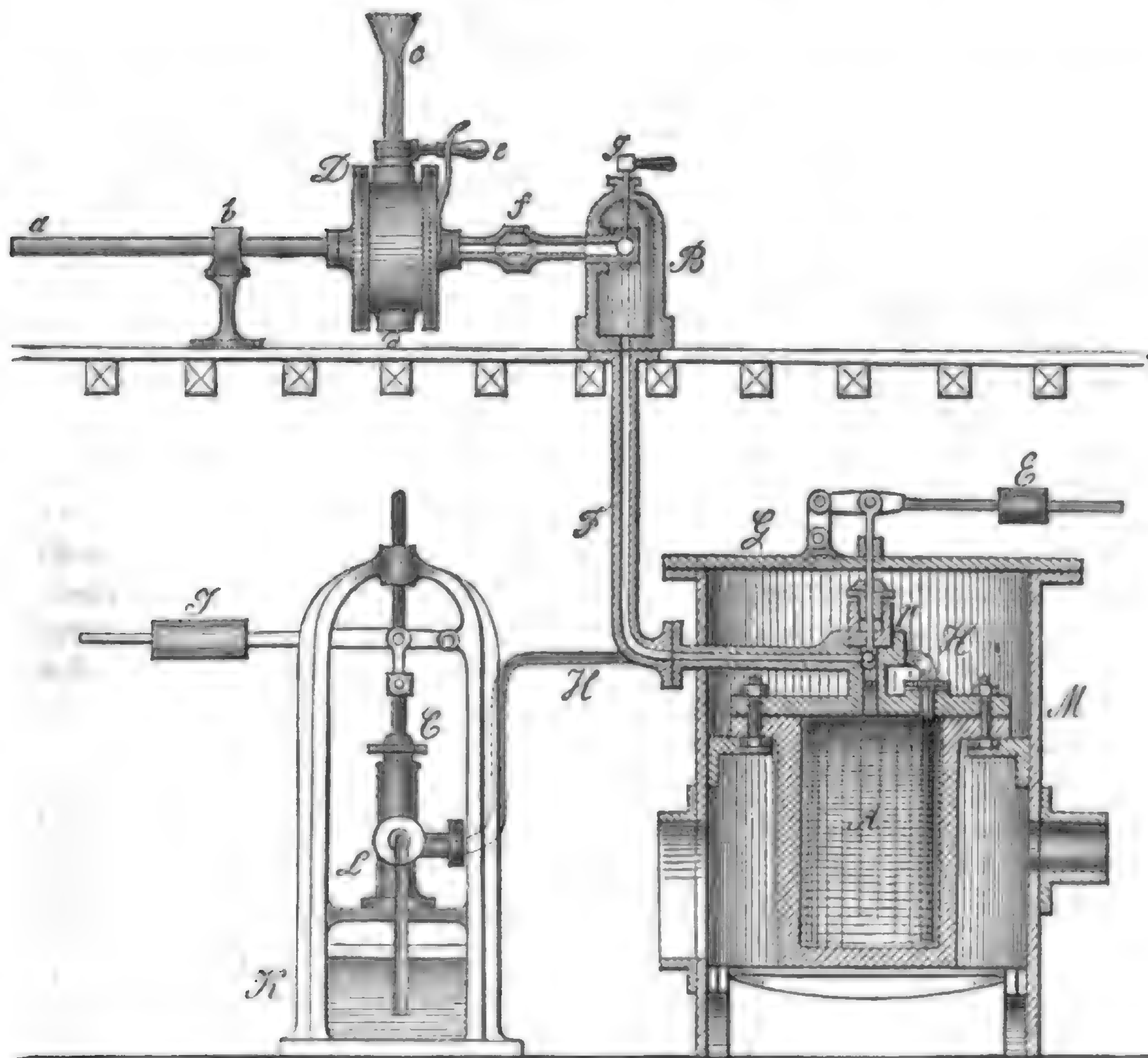
Perkins blieb dabei nicht stehen, und construirte unmittelbar nach Patentirung der eben beschriebenen Wurfmethode ein Dampf-Wurfrohr nach einem Princip, das er bis jetzt beibehalten hat und nach welchem Dampf von hoher Spannung unmittelbar die Stelle des Pulvers in Geschützen vertritt. Die englischen Journale berichteten mit übertriebenem Eifer und wahrscheinlich auch ebenso übertriebenen Angaben von einem entscheidenden Versuche mit der ersten Dampfflinte, der in England am 6. December 1825 in Gegenwart von zahlreichen Sachverständigen und des Herzogs von Wellington stattfand *). In einer Entfernung von circa 100 engl. Fuß ward auf eine eiserne Zielscheibe geschossen und die Flintenkugeln wurden dadurch, je nach dem Dampfdruck, theils platt gedrückt, theils in Stücke zerschlagen. Von 12 Bretern, jedes 1 Zoll von dem andern und 1 Zoll dick, wurden 11 durchschossen, ebenso eine Eisenplatte von $^1/_4$ Zoll Dicke. Der Druck, unter welchem die Versuche angestellt wurden, war nur ungefähr 900 Pfd. auf den Quadratzoll, oder 65 Atmosphären. Perkins versicherte aber, ihn ohne Gefahr auf 200 Atmosphären erhöhen zu können. Das Dampfschießgewehr schoß 250 Kugeln per Minute (fast 2 Stunden hindurch, wie der erste Bericht sagt) **) und brauchte per Stunde, also auf 15,000 Schuß, nur 5 Bushels Kohlen. Durch eine besondere Vorrichtung konnte man die Geschwindigkeit des Abschießens bis auf

*) Siehe Glasgow Mechanics Magazine 1826. No. 108. p. 338.

**) Dingler's Journ. 1826. Bd. XIX. S. 103.

1000 Kugeln per Minute steigern *). Bei dieser Geschwindigkeit sollte, nach Perkins' Angabe, 1 Pfd. Steinkohlen so viel Effect hervorbringen, als 4 Pfd. Pulver.

Der Apparat besteht wesentlich aus 2 Theilen, aus dem Generator G und dem Dampfschießgewehr D. Der Generator, den Perkins zu diesem Zweck



zuerst anwandte, ist ein ganz mit Wasser gefüllter und dampfdicht verschlossener Cylinder A mit 3 Zoll dicken Wänden. Er steht in dem Ofen M, in welchem das Feuer noch durch Gebläseluft verstärkt ist, so daß das Wasser weit über den Siedepunkt erhitzt wird, und eine bedeutende Spannung erhält. Ein verhältnißmäßig belastetes Kugelventil im Ventilsitz p verhindert das Wasser am Austritt

*) Die Beschreibung in Dingler's Journ. Bd. XX. S. 223 ist unklar und die beigefügte Skizze des ganzen Apparates so mangelhaft, daß man in der That Nichts daraus ersieht. Eine etwas bessere Zeichnung giebt v. Hoyer in seinem bereits citirten Werk. — Wir geben hier eine Zusammenstellung des Apparates, welche nach den vorhandenen Beschreibungen vom Verfasser selbst entworfen ward, und die, wenn auch nicht constructiv, doch wenigstens den Zweck erfüllt, den Apparat mehr zu versinnlichen, als jene Skizzen.

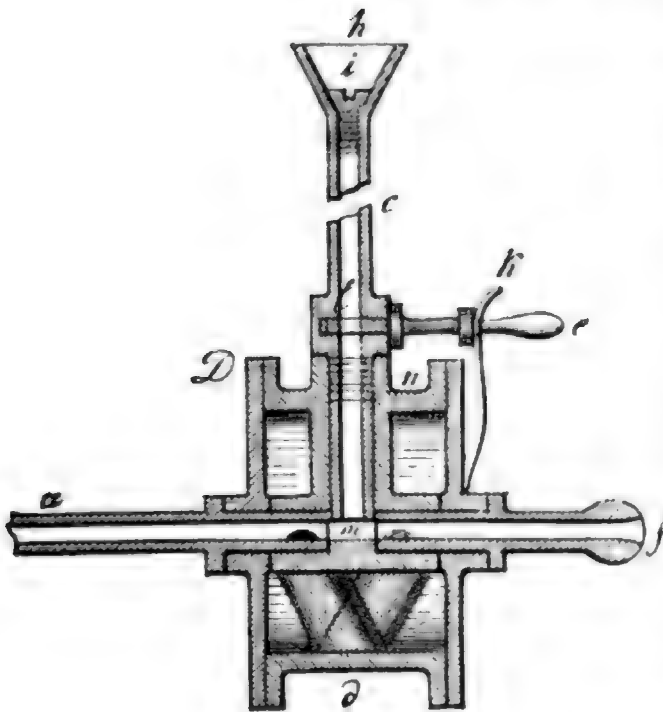
in das Dampfrohr F und dient zugleich als Sicherheitsventil. Das bewegliche Gewicht E, welches das Ventil niederdrückt, compensirt nämlich den Gegendruck, den das überhitzte Wasser ausübt. Sobald dieser Normaldruck überschritten ist (bei Perkins 30 — 50 Atmosphären), öffnet sich das Ventil in p, es tritt etwas Wasser in die Röhre F und verwandelt sich dort in Dampf von fast ebenso hoher Spannung, der sich in der Dampfkammer B, welche durch die Drosselklappe g abgesperrt ist, ansammelt.

Der Austritt des Wassers nach F, welcher also einestheils durch Erhöhung der Temperatur und der entsprechenden Spannung erreicht wird, kann aber auch anderntheils durch die Druckpumpe C hervorgebracht werden.

Diese Druckpumpe wird durch den Hebel J, mit Gegengewicht, in Thätigkeit gesetzt und drückt das in K vorgewärmte Wasser durch die Röhren L und H in den Cylinder A. So wie das Wasser mit Ueberdruck nach A gepreßt wird, öffnet sich das Ventil in p und die Dampfproduction beginnt. Die Druckpumpe dient aber zugleich dazu, den Cylinder A fortwährend gefüllt zu erhalten und das in Dampf verwandelte Wasser zu ersetzen.

Der in der Dampfkammer B angesammelte Dampf von 30 — 50 Atmosphären kann nun unmittelbar als Motor benutzt werden, sobald die Drosselklappe g geöffnet wird. Der Dampf tritt durch das Kugelgelenk f in die Gewehrkammer D ein. Dort findet er bereits eine Kugel vor, welche er durch den Gewehrlauf a abschießt; sogleich fällt eine zweite Kugel nach und so fort, bis entweder die Munition zu Ende ist, oder man die Drosselklappe g schließt. Ein verschiebbares Gestell b dient dazu, das Gewehrrohr a (von 6 Fuß Länge) nach allen Richtungen hin zu bewegen, oder horizontal im Kreise zu führen, wobei sich das Rohr im Kugelgelenk f charnirt.

Die Gewehrkammer D bedarf aber noch einiger Erläuterung und ist deshalb in nebenstehender Figur und Figur S. 209 im vergrößerten Maßstab gezeichnet. Sie umschließt 3 Röhren a, c, f, welche in m (wo bei dem Pulvergewehr die Schwanzschraube sein würde) zusammentreffen. Durch c fallen die Kugeln nieder, durch f tritt der Dampf ein und wirft die Kugel durch a hinaus. Das Rohr c kann bei n abgeschraubt werden. Es wird zunächst durch den Trichter h mit Kugeln gefüllt bis zu dem Punkte l, der durch einen Schieber verschlossen ist. Sodann wird die Schraube i in den Trichter eingeschraubt und das Rohr ist dadurch vollkommen geschlossen. Nachdem man es in n eingeschraubt hat, stößt man durch den Griff e, der mit der Feder k gehalten und angedrückt wird, den Schieber in l zurück und öffnet zugleich die Drosselklappe g (siehe die Figur S. 207).



Die Kugeln in c fallen schnell nach m und werden ebenso schnell durch a hinausgestoßen. Sobald das Rohr c geleert ist, dreht man die Gewehrkammer um die Axe, welche durch die Rohre a und f gebildet wird, — und ein neues, bereits gefülltes Rohr d (wie Fig. S. 208 zeigt) giebt seine Kugeln ab, sobald der Schieber l durch e herausgestoßen ist. Während dem kann das Rohr c herausgenommen und neu gefüllt werden. In Fig. S. 208 sind 3 solche Rohre angedeutet. Das Rohr c ist eben in Thätigkeit, d noch gefüllt, während o bereits geleert und abgeschraubt ist, und so fort.

Dieses Dampfgewehr schoß die Kugeln mit solcher Schnelligkeit und Präcision in horizontaler Linie, jede 1 Zoll von der andern, daß mit einem Dampfrohr in derselben Zeit beinahe 3 Mal so viel Kugeln abgefeuert wurden, als von einer Compagnie von 90 Mann. „Die Regierung", sagte der Bericht im Glasgow Mechanics Magazine, „zeigte eine lobenswerthe Aengstlichkeit, sich dieser furchtbaren Anwendung des Dampfes zu bemächtigen; und wir können ganz beruhigt sein, — diese Erfindung wird nicht verloren gehen." — Und sie scheint doch verloren gegangen zu sein, denn man weiß von diesen fabelhaften Erfolgen Nichts mehr, obgleich das Dampfgeschütz und Perkins noch existiren. — Wäre dieser Bericht vor Jahrhunderten geschrieben und nur durch Tradition auf uns gekommen, so würde der Laie, im Hinblick auf die jetzigen mäßigen Leistungen des Dampfgeschützes, dem heutigen Mechaniker ohne Weiteres den Vorwurf machen, den man noch oft genug hört, daß die Wissenschaft rückwärts gegangen oder daß irgend ein Mysterium durch profane Hände verloren gegangen sei, denn die Alten hätten doch ganz andere Dinge geleistet als wir. Leider ist aber der Bericht erst 1/4 Jahrhundert alt und die Quelle desselben in der Phantasie der Beobachter selbst zu suchen. Dies giebt einen Schlüssel zu den meisten Mysterien der Vergangenheit.

Man träumte sogleich vom ewigen Frieden, als man diese Berichte 1826 veröffentlichte, und berechnete im Voraus, welche wichtige Veränderungen das Dampfgeschütz noch in der Völkergeschichte hervorbringen werde. Trotz dieser fabelhaften Erfolge aber ging die englische Regierung nicht darauf ein, die Erfindung an sich zu bringen, obgleich der Herzog von Wellington gesagt haben soll, „daß kein Land angegriffen werden könne, welches von einer solchen Artillerie vertheidigt werde", und Lord Cockburn sehr geistreich bemerkte, „das Unglück bei der Sache wäre nur dieses, daß diese Waffen für Völker eben das wären, was die Pistolen für Duellanten: der Schwächste werde dadurch ebenso stark, wie der Stärkste." Der erste Bericht, welcher meldete, daß das Dampfgeschütz beinahe 2 Stunden lang gearbeitet habe, mußte offenbar falsch sein, sonst hätten die englischen Inge-

nieure nicht im Gutachten aussprechen können, daß Perkins den Dampf nicht länger als 2—3 Minuten in so hoher Spannung erhalten könne! Uebrigens warf man ihm vor, daß die angestellte Probe auf Täuschungen (delusive) beruht habe, und daß ein Perkins'scher Generator keine Woche lang aushielt *).

General-Major v. Hoyer bemerkt (in seinem Buch über Brandraketen und Dampfgeschütz) bei diesen Versuchen sehr richtig: „Das Unerwartete der Wirkung scheint die Anwesenden getäuscht zu haben.“ Es war kein Schießgewehr mit Pulverladung neben dem Perkins'schen Dampfgewehr aufgestellt und darum fehlte es an jedem Vergleich. Nach v. Hoyer schlägt die Kugel eines gewöhnlichen preußischen Soldatengewehres (von 1827) mit $^3/_4$ Loth Pulverladung auf 200 engl. Fuß (100 Schritt) durch eine 3 Zoll dicke Pfoste und durch ein 2 Linien starkes Eisenblech, womit die Pfoste belegt ist. Ein zweites, gleich starkes Blech auf der hintern Seite wird dabei durch den Stoß der Kugel noch bis zum Zerreißen durchbogen.

Dennoch schreibt Perkins an Dr. Jones **), daß er Dampf-Artillerie und Musketerie für die französische Regierung zu fertigen habe, nachdem sein System bereits von derselben geprüft sei. Es seien zu Greenwich eine Reihe von Versuchen angestellt worden ***), denen außer französischen Ingenieurs auch der Fürst Polignac beigewohnt habe, und welche so günstige Resultate lieferten, daß auf der Stelle ein Contract abgeschlossen wurde, in welchem Perkins vier Punkte garantirte. Nämlich: 1) vollkommene Sicherheit des Generators; 2) seine Unzerstörbarkeit; 3) die Möglichkeit, den Dampf zu halten, so lange man wolle und in jeder Spannung; und 4) endlich die große Ersparniß gegen Pulver. Perkins sollte dazu eine Dampfkanone liefern, welche per Minute 60 Bleikugeln, à 4 Pfd., mit derselben Genauigkeit werfen könnte, wie ein gezogenes Rohr. An demselben Generator sollte sich zugleich eine Muskete befinden, die per Minute 100—1000 Bleikugeln werfen könnte, so lange man wolle. Der ganze Apparat sollte transportabel sein. An der Erfüllung des 2. und 3. Contractpunktes (welcher geradezu Unmöglichkeiten verlangte) mußte Perkins scheitern und das ist jedenfalls der Grund, warum die Dampfgeschütze weder in Frankreich noch sonst irgendwo eine bleibende Anwendung fanden und warum sie in unverdienten Mißcredit kamen, nachdem man sie kurz vorher nicht genug preisen konnte.

Seit 1827 schwiegen die Journale längere Zeit über die Erfolge der Dampfgeschütze. Nur ein Bericht erschien in französischen Blättern ****), wonach ein Spanier aus Alt-Castilien eine Dampfkanone „erfunden“ haben wollte, die 100 Mal per Minute abfeuern könne. Zwei spanische Generale sollten darüber vortheilhaften Bericht an den König erstattet haben, doch scheint es bei dem Bericht geblieben zu sein.

---

*) Dingler's Journ. Bd. XXVI. S. 389.
**) Technical Repository Octbr. 1827. p. 249.
***) Vgl. Fresnel's Urtheil im Bulletin général des Sc. Math., Phys. et Chim. 1825. Jan. p. 59. — Ferner: Dupin, Voyages dans la Grande Bretagne. 1. Partie. Lib. III. Ch. 6. p. 148.
****) Mechanics Magazine 1827. No. 184. p. 135.

Im Jahre 1830 lieferte Perkins seine contractmäßigen Dampfgeschütze an die französische Regierung ab, doch lauteten die Berichte darüber sehr ungünstig*). Die Versuche mit den Dampfkanonen zu Vincennes hatten keinen glücklichen Erfolg. Die 4pfündigen Bleikugeln blieben auf 40 Schritt in einem Schiffsgeripp stecken, und man fand auf einmal auch die Maschine zu complicirt. Es scheint, daß diese 4pfündigen Dampfkanonen später auch von Perkins nicht mehr angewendet wurden und zwar mit Recht. Perkins ließ sich dadurch nicht abschrecken, neue Versuche anzustellen und sein Dampfgeschütz zu verbessern. Diese Versuche hat er bis auf die neueste Zeit fortgesetzt und namentlich den Apparat dadurch wesentlich vereinfacht. Ferner beschränkte er die Anwendung des Dampfes auf das Werfen der Flintenkugeln, und sah von der Construction der Dampf-Kanonen ab, welche, wie die Berechnung zeigen wird, auch niemals praktische Anwendung finden können. Anders verhält es sich mit den Dampf-Flinten, von welchen Perkins ein Exemplar in der Londoner Industrieausstellung vom Jahre 1851 aufgestellt hatte **).

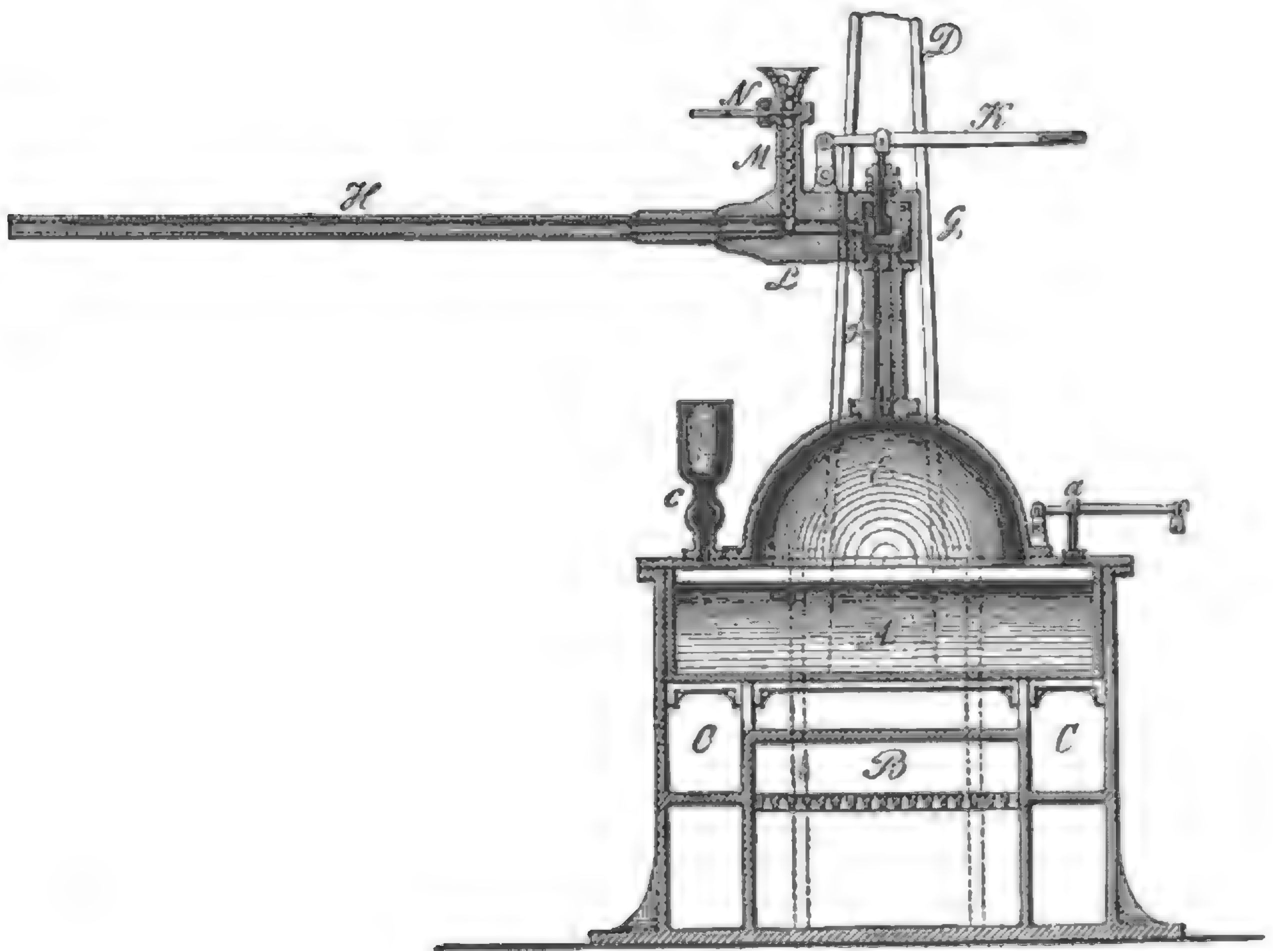
Der Verfasser theilt unter Figur I. und II. S. 212 die Skizze eines Dampfgeschützes nach Perkins' neuester Construction mit ***). — Der Dampfkessel A unterscheidet sich von den gewöhnlichen Dampfkesseln nur dadurch, daß er nicht cylindrisch, sondern parallelopipedisch ist — eine Aenderung, die weder wesentlich noch vortheilhaft erscheint. Das Princip des Generators bei Dampfgeschützen anzuwenden hat Perkins aufgegeben. B ist der Rost, CC sind die Feuerzüge, D der Schornstein des Kessels A. Der Dom E sammelt den Dampf und führt ihn durch das Rohr F in die Kammer G, welche mit dem Geschützrohr H (von 8 Fuß Länge) durch das Gußstück L verbunden ist. Die Kammer G ist auf dem Rohr F drehbar. Der Eintritt des Dampfes aus G nach H wird durch den Dampfschieber J bewirkt und zugleich regulirt. Der Hebel K bewegt das Dampfventil J. Eine Strecke hinter demselben, und zwar da, wo das Geschützrohr in das Verbindungsstück L eingeschraubt ist (wo also beim Gewehr die Schwanzschraube sitzen würde), mündet das Kugelrohr M, das, oben mit einem Trichter versehen, die Kugeln von $1/2$ Zoll Durchmesser aufnimmt und unmittelbar in den Lauf führt, wo dieselben, wenn das Ventil J geöffnet ist, nach einander durch den Dampf aus dem Geschützrohr gestoßen werden. Ein Schieber N, der zur Seite gedreht werden kann und dessen Einrichtung in Figur II. S. 212 im Durchschnitt zu ersehen ist, verhindert, daß die bereits eingefüllten Kugeln durch den Dampfdruck wieder aus dem Trichter geworfen werden. Der Schieber N bleibt geschlossen, so lange J offen ist. Sind die Kugeln unterhalb N verschossen, so schließt man J und öffnet N, um neue Kugeln nachfallen zu lassen. Man kann aber auch die

*) Journal de Commerce und United Service Journal. Januar 1830. Ebenso Mechan. Mag. No. 335. Januar 1830. p. 346. und Dingler's Journ. Bd. XXXV. S. 319.

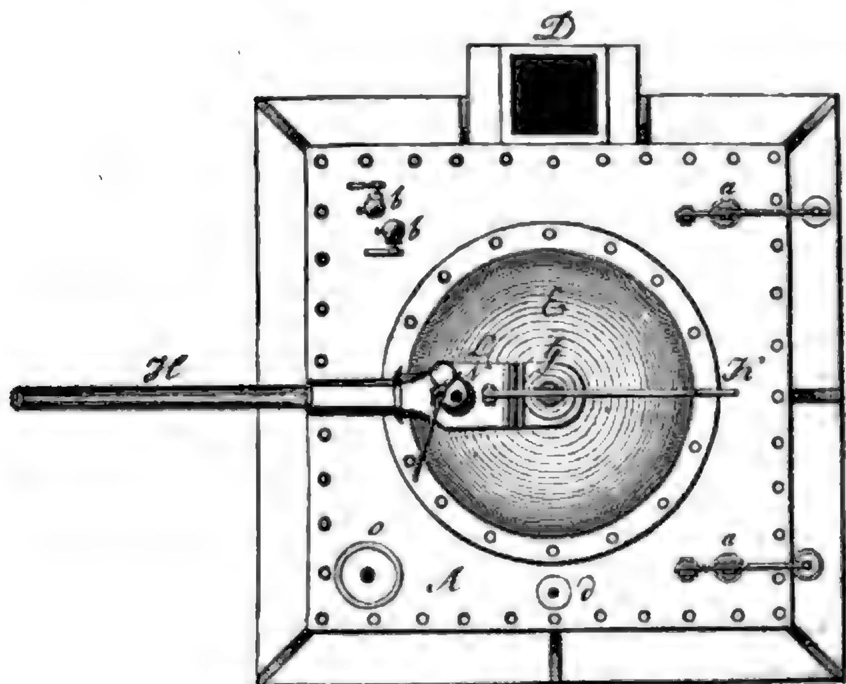
**) Im officiellen Cataloge der Exhibition unter: United States. No. 532.

***) Zu bemerken ist hierbei, daß die Zeichnung weder constructiv, noch nach bestimmten Maßen entworfen werden konnte, da sie nur auf einer flüchtigen Handskizze, nach einmaligem Betrachten des Modells, basirt ist. Das einzige Maß, welches der Verfasser angeben kann, ist, daß die Länge des Wurfrohres 8 Fuß englisch und der Durchmesser der Bleikugeln $1/2$ Zoll englisch beträgt. In Figur S. 207 ist das Rohr kürzer gezeichnet, als es an Perkins' Modell ausgeführt ist, so daß die Länge des Rohres keinen Maßstab für die Dimensionen des Apparates giebt.

I.

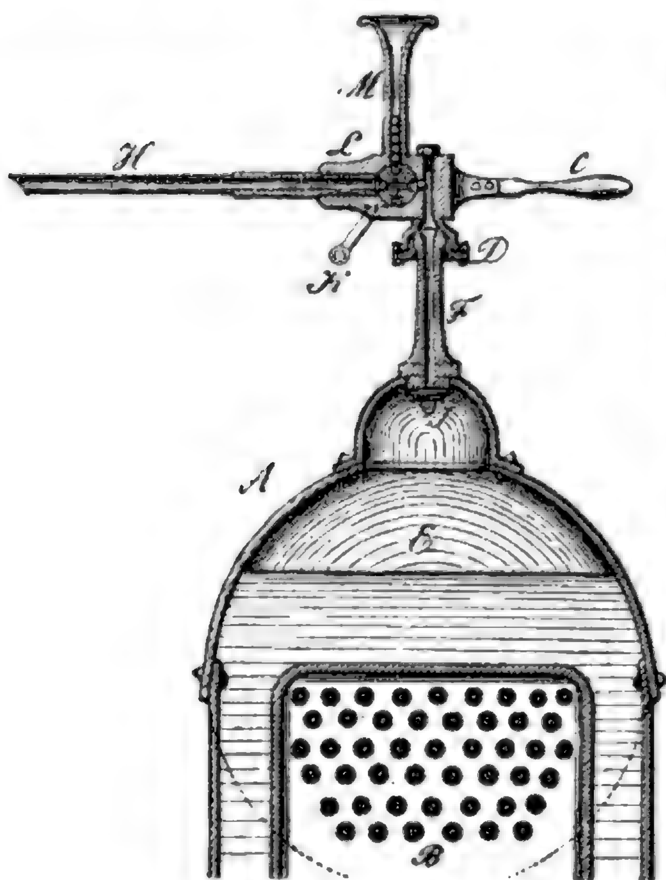


II.



Kugeln langsamer werfen, wenn man, nach einmaligem Abfeuern, den Schieber J sogleich schließt und durch N eine neue Kugel nachfallen läßt, damit die Röhre M immer gefüllt bleibt, und dadurch ein Rückstoß auf den Deckel von N vermieden ist,

sobald J geöffnet wird. Beide Handgriffe, K und N können von einer Person dirigirt, und das Rohr H von derselben zugleich gedreht und gerichtet werden. Je länger das Rohr M ist, desto mehr Kugeln können natürlich unmittelbar hinter einander verschossen werden. — a, a, b, b, c ist die Kessel-Armatur. a, a zwei Sicherheitsventile, das eine mit Gewicht, das andere mit Federwage; b, b zwei Probirhähne, c ein Trichter zum ersten Füllen des Kessels. — Beim Gange der Maschine muß das Wasser mit einer Handpumpe, ähnlich wie in Figur S. 207, durch die Oeffnung d in den Kessel gedrückt werden.



Nebenstehende Figur zeigt ein Dampfgeschütz nach des Verfassers eigener Construction, um einestheils einige Uebelstände zu beseitigen, welche das eben beschriebene Dampfgeschütz von Perkins noch zeigt, — anderntheils dasselbe für eine Anwendung passend zu machen, welche diesem Apparat bis jetzt noch nicht zu Theil ward und vielleicht auch aus anderen Rücksichten niemals werden wird, obgleich an und für sich die Vorrichtung nicht die geringsten Hindernisse darbietet. Wir meinen die Anbringung des Geschützrohres auf Locomotiven. Die Locomotiv-Kessel müssen zu dem Ende etwas größeren Dampfraum und stärkere Wände erhalten, die Form etwas verändert, die Treibcylinder kleiner werden und mit starker Expansion arbeiten — Alles Veränderungen, die nur Vortheile, aber keine Nachtheile bringen würden. Das Geschützrohr würde unmittelbar über dem Dampfraum aufgeschraubt, von einem Arbeiter bequem dirigirt, bestriche von den, meist erhabenen Eisenbahnlinien aus (deren strategische Bedeutungen man immer mehr erkennt) nach allen Seiten hin das Terrain und diente zugleich zur Vertheidigung gegen die Angriffe auf die Schienen. Man könnte theils besondere Locomotiven, als moderne Streitwagen, zu strategischen Zwecken construiren, theils an jeder Locomotive, sobald bei ihrem Bau auf diesen Nebenzweck Rücksicht genommen ward, das Geschützrohr anschrauben, sobald es nöthig würde. Die Gefahr durch den erhöhten Dampfdruck ist eine eingebildete, denn wir werden in dem Artikel Dampfmaschine sehen, daß durch gleichmäßigen und normalen, wenn auch noch so hohen Dampfdruck, ein Kessel niemals springen wird, sofern er nicht factisch zu schwach gebaut war, was man durch Rechnung augenblicklich finden kann. Ein Niederdruckkessel ist derselben Gefahr der Explosion ausgesetzt, als ein Kessel für den höchsten Dampfdruck, weil bei der Explosion Verhältnisse eintreten, die

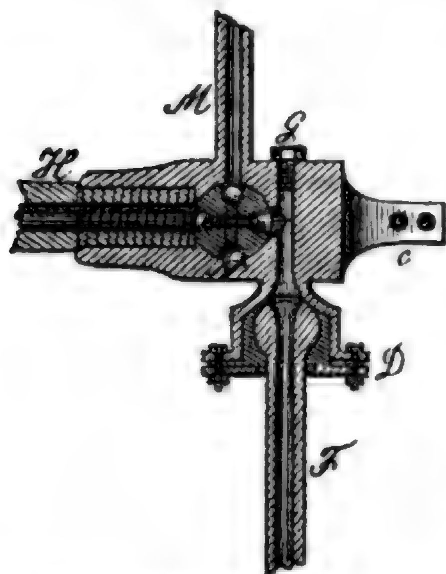
sich weder durch Rechnung vorausbestimmen, noch durch Dicke der Kesselwände vermeiden lassen.

Ohne weiter auf diesen Gegenstand hier einzugehen, seien nur noch kurz die Vortheile des Dampfgeschützes in Figur S. 213 angegeben, da die Einrichtung und Wirkungsart im Uebrigen dem Perkins'schen in Fig. I. S. 212 analog ist.

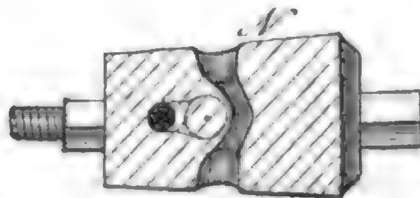
Der Locomotiv-Kessel A, mit der Feuerbüchse B und dem Dampfraum E könnte in jedem Falle angewendet werden, auch wenn das Dampfgeschütz kein locomobiles, sondern ein stationäres wäre. Das Princip der Locomotiv-Kessel mit Feuerröhren sollte überhaupt überall da angewendet werden, wo es auf Raumersparniß bei großer Feuerfläche ankommt. — Das Abstellventil J ist im Dampfraum selbst angebracht, wodurch die Abkühlung des Dampfes im Rohre F und somit Verlust an Dampfspannung vermieden wird, sobald im Schießen eine Pause eingetreten ist.

D ist ein Universalgelenk, um das Dampfgeschütz vermittelst des Griffes C (den der Schütze immer mit der linken Hand gefaßt halten muß) eleviren, plongiren und im Azimuth bewegen zu können. Sobald der Schieber J geöffnet ist, kann der Dampf unmittelbar zum Werfen der Kugeln verwendet werden, welche Stellung auch das Rohr H gegen das Rohr F annimmt. Der Dampf tritt in den doppelt durchbohrten Hahn N ein, welcher die Kugeln aus M aufnimmt und sie durch H auswerfen läßt. Zu diesem Zweck bedarf es nur immer einer Viertelswendung des Vierweghahnes N durch die Kurbel K. Die Gewehrkammer L ist in Fig. I. im vergrößerten Maßstab gezeichnet und Fig. II. zeigt den Vierweghahn N im Durchschnitt. Die doppelte Durchbohrung des Hahnes ist nämlich der Art, daß zwar die 4 Oeffnungen (welche etwas ausgefraißt sind, um für die Kugeln bequeme Lager zu bilden) in einer Ebene liegen, aber die verengerten Dampfwege im Innern des Hahnes schief gegen einander stoßen, so daß sie sich nirgends berühren.

I.



II.



Während also der Dampf durch die eine Durchbohrung ausströmt, und die an der Peripherie des Hahnes befindliche Kugel fortschleudert, ist der, senkrecht darauf gebohrte andere Dampfweg abgeschlossen und nimmt nun unterdeß eine Kugel aus M auf. Durch eine Viertelswendung wird diese Kugel abgeschossen, und der andere Dampfweg dient zur Kugelaufnahme und so fort. Durch eine weitere Achtelswendung ist der Dampf abgeschlossen und beide Dampfwege sind außer Thätigkeit. Diese Vorrichtung hat den Vortheil, daß man die Aufeinanderfolge der Schüsse

vollkommen in seiner Gewalt hat. Man kann die Kurbel K so schnell drehen, daß man in derselben Zeit mehr Kugeln werfen kann, als mit Perkins' Vorrichtung in Fig. I. S. 212, sogar ebenso viel als mit dem Gewehr Figur S. 207, während man mit letzterem die Geschwindigkeit der Aufeinanderfolge der Kugeln nicht in seiner Gewalt hat, sondern so rasch schießen muß, als die Kugeln nachfallen. Eine mögliche Verstopfung des Hahnes N (Fig. I. S. 214) kann leicht gehoben werden, indem man den Dampf durch J (Figur S. 213) abschließt und sodann die Schraube G (Fig. I. S. 214) öffnet, um den Hahn N zu untersuchen.

Die Beschreibung der, an sich sehr einfachen Dampfgeschütze hiermit beschließend, bedarf es nur noch einer kurzen Hinweisung auf die indirecten Dampfgeschütze, bevor wir uns zur Berechnung wenden.

Fast gleichzeitig tauchte in England, Frankreich und Deutschland die Idee auf, den Dampf, anstatt ihn direct als Motor für die Geschützkugeln anzuwenden, nur zu benutzen, die atmosphärische Luft in einer Windbüchse zu comprimiren. Man hat diese Dampfwindbüchsen mit Unrecht Dampfgeschütz genannt. — Wem die Priorität dieser Idee gebührt, ist schwer zu entscheiden. Prechtl scheint sie für sich in Anspruch nehmen zu wollen *) und kommt wiederholt darauf zurück **). Doch entwickelte Poncelet im Februar 1829 ***) dieselbe Idee selbstständig und Dingler's Journal ****) giebt bereits 1827 die Beschreibung einer „Windbüchse, von Dampf getrieben", die von Curtis in England construirt ward *****).

Auf Poncelet's Betrachtungen und Prechtl's Angaben kommen wir später zurück, und beschränken uns hier, die Zeichnung und Beschreibung von Curtis' Windbüchse zu geben — da das Princip im Wesentlichen durch dieses Beispiel hinreichend repräsentirt ist.

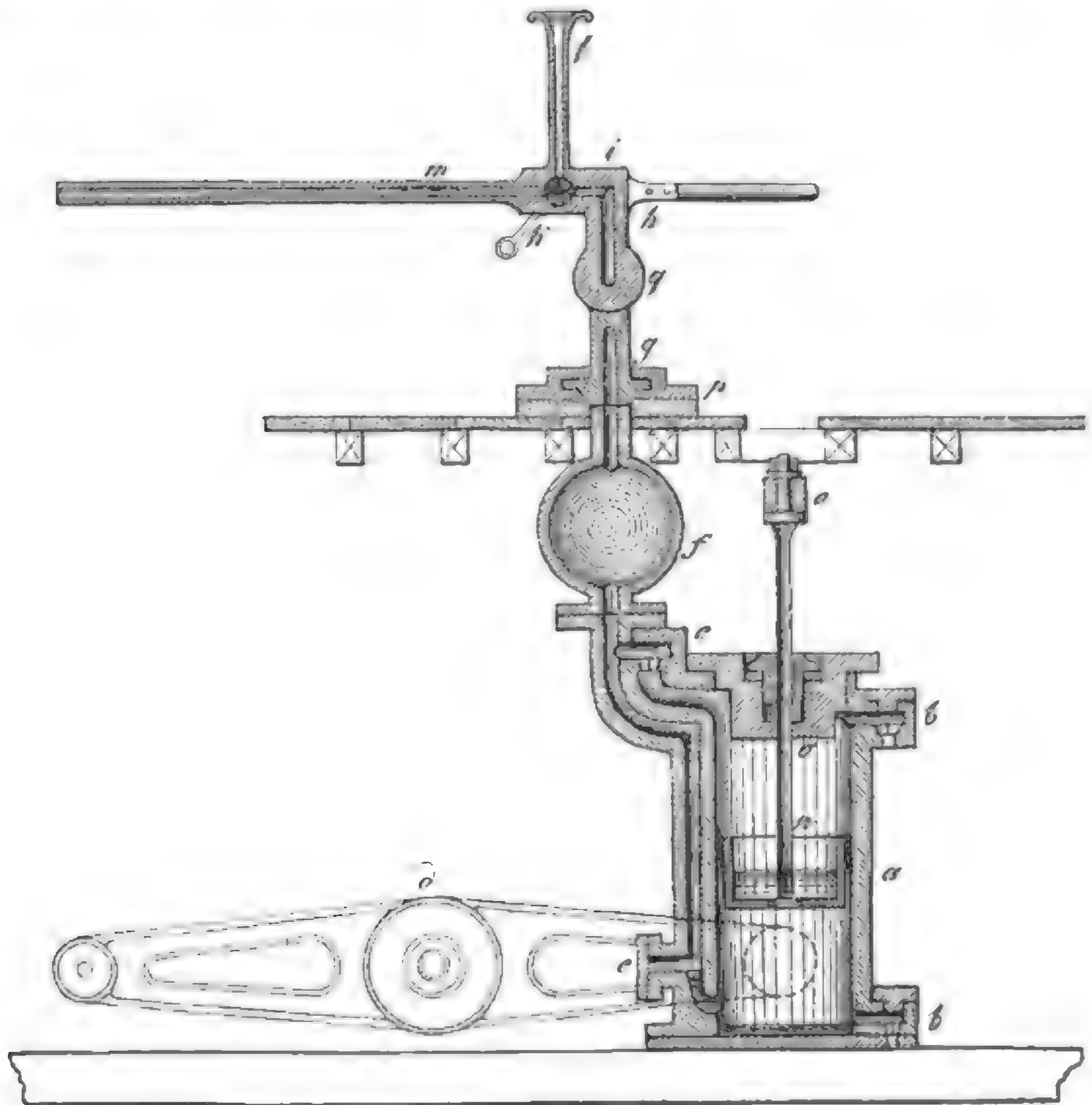
Umstehende Fig. S. 216 und S. 217 zeigt Curtis' im größten Maßstab construirte Windbüchse, welche für ein Dampfschiff bestimmt war und nicht weniger als 55 Pferdekraft verlangte.

a Fig. S. 216. ist eine kräftige doppelte Luftpumpe mit 2 Saugventilen bb und 2 Druckventilen cc. Diese Luftpumpe wird unmittelbar durch den Balancier d der Schiffsdampfmaschine in Bewegung gesetzt, mit welchem sie durch das Querstück e und durch die entsprechenden Schubstangen verbunden ist. Bei jedem Spiel der Schiffsdampfmaschine wird die Luft in der Luftpumpe a zweimal comprimirt und in die Kugel f gedrückt, welche als Luftbehälter dient. Von hieraus gelangt die Luft durch die Canäle g und h in das Querstück i, welches mit dem Vierweghahn k abgesperrt ist und durch das Kugelrohr l mit Kugeln versehen wird, die durch m hinausgetrieben werden; ganz so, wie es beim Dampfgeschütz Fig. I. und II. S. 214 gezeigt wurde, nur mit dem Unterschied, daß hier nicht der Dampf, son-

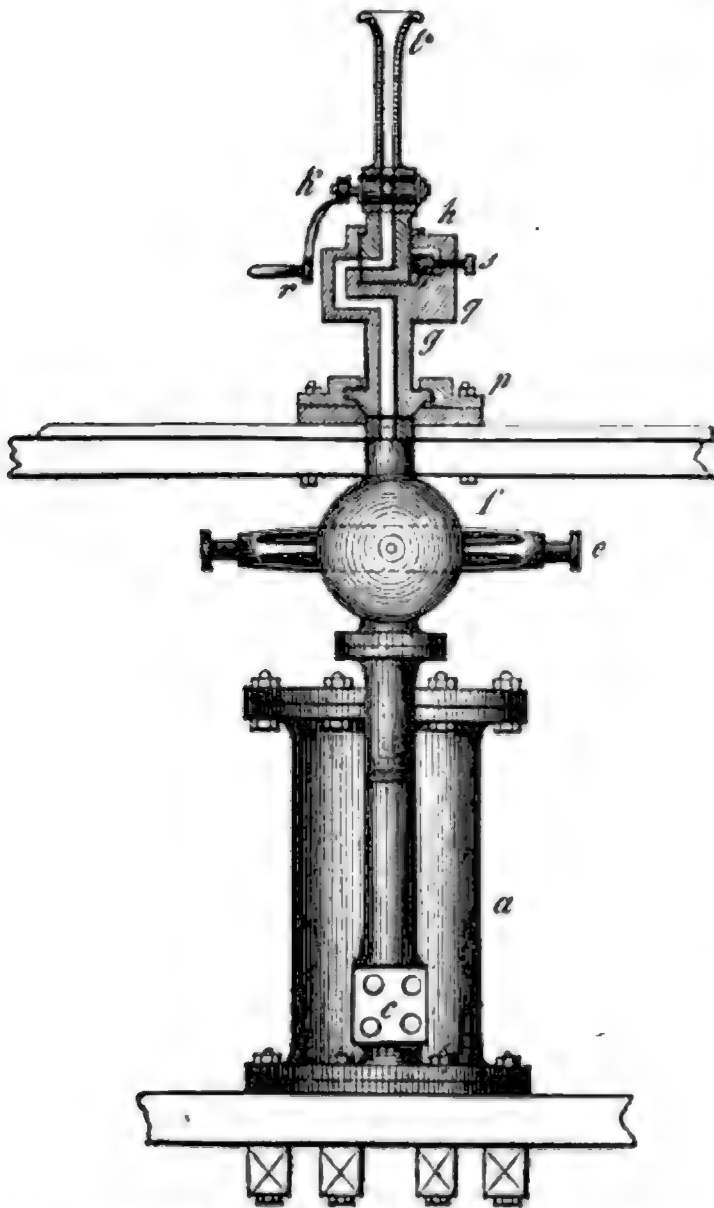
---

*) Siehe Prechtl's Jahrbücher des polytechn. Instituts zu Wien. Bd. IX. S. 37.
**) Prechtl, Technologische Encyklopädie. Bd. III. S. 521.
***) Poncelet, Mécanique industrielle. Vol. I. p. 123.
****) Dingler's Journal 1827. Bd. XXVI. S. 397.
*****) Repertory of Patent-Inventions Octbr. 1827. p. 228.

dern comprimirte Luft der Motor für die Kugeln ist. Besonderer Erwähnung bedarf nur noch die Einrichtung des Kolbens, so wie die Vorrichtung, welche zum Richten des Rohres m dient.



Der Kolben n ist ein Taucherkolben. Er ist theilweise hohl und diese Höhlung paßt genau in die Ausbauchung des Cylinderdeckels o. In der Höhlung des Kolbens, so wie am Boden des Cylinders a ist Oel befindlich. Bei jedem Stoß des Kolbens nach unten wird das Oel vom Cylinderboden hinweg in die untern Luftcanäle gepreßt — ebenso wird das Oel im Kolben n bei jedem Kolbenzug nach Oben durch den Cylinderdeckel in die oberen Luftcanäle gepreßt, indem die Dichtung des Kolbens das Oel dabei hindert, nach unten abzufließen. Auf diese Weise wird der „schädliche Raum" möglichst vermieden, indem das, vorher dem Volumen nach bestimmte Oel die schädlichen Räume ausfüllt und die Luft aus der Pumpe vollkommen vertreibt. Das ist nöthig wegen der hohen Compression, welche die Luft erleiden muß. Wenn diese Vorsicht nicht angewendet würde, so würde die in der Pumpe zurückbleibende, ebenfalls stark comprimirte Luft reagiren, einen Gegenstoß bewirken, und theilweise die Wirkung der Pumpe vereiteln. Es würde unmöglich sein, Kolben und Cylinderdeckel so nahe zu bringen,



daß keine Luftschicht dazwischen bliebe, und dadurch würde zugleich die Compression der Luft über einen gewissen Grad hinaus unmöglich gemacht, während mit Anwendung des Taucherkolbens die Compression der Luft unbeschränkt ist.

Die horizontale und vertikale Richtung wird dem Schießgewehr vermittelst der beiden Röhren g und h gegeben, welche sich in Ebenen bewegen, die senkrecht auf einander stehen. Die Röhre g dreht sich um eine vertikale Are, vermöge des Konus am untern Ende, welcher im Lager p luftdicht eingeschliffen ist.

Die Röhre h dreht sich um eine horizontale Are, indem sie mit der, bei r rechtwinklich auf sie stoßenden Röhre g eine Art Charnier bildet. Die Röhre h bewegt sich nämlich in dem Querstück q und wird durch die Stellschraube s luftdicht an die obere Mündung der Röhre g angedrückt, wie aus der beistehenden Zeichnung deutlicher zu ersehen ist. Vermittelst der Vorrichtung bei q kann das Gewehr elevirt und plongirt werden. Vermittelst des Konus in p wird der Apparat im Azimuth bewegt. Der Hub des Kolbens der Luftpumpe ist nach Curtis 3 Fuß englisch, bei $26^1/_4$ Zoll Cylinderdurchmesser. Die Luft soll nach ihm bis auf 201 Atmosphären comprimirt werden, und die dazu erforderliche Dampfkraft beträgt 55 Pferde. Die Berechnung zeigt, daß durch diese Verbesserung des Dampfgeschützes durchaus Nichts erspart, sondern im Gegentheil nur Verlust an Nutzeffect erzielt wird.

Die Brauchbarkeit des Wasserdampfes als Motor von Projectilen, so wie die Grenzen, innerhalb welcher er dabei eine praktische Verwendung finden kann, lassen sich ohne Weiteres übersehen, sobald man eine einfache theoretische Betrachtung und eine Vergleichung der Wirkung des Dampfes mit der des Pulvers und der comprimirten Luft vornimmt. Unter den verschiedenen Schriftstellern, welche sich mit diesem Gegenstand beschäftigt haben, wollen wir nur Coriolis *),

*) Coriolis, Calcul de l'effet des machines.

Poncelet *) und Prechtl **) hervorheben, da wir die Ansichten der beiden letzteren Autoritäten besonders hier anführen werden.

Der Dampf kann zunächst, indem er ein Projectil in Bewegung setzen soll, auf doppelte Art wirken — durch Stoß oder Druck, den Stoß in einem untheilbaren Zeitmoment, den Druck als gleichförmig und continuirlich wirkend gedacht. Die Wirkung durch Stoß wäre der des Pulvers in den Schießgewehren analog — die Wirkungsart durch gleichförmigen Druck dagegen ist dieselbe, wie sie der Dampf bei den Dampfmaschinen ausübt, indem er den Kolben im Cylinder vor sich herschiebt.

Abgesehen davon, daß man den Stoß, wegen des damit verbundenen Verlustes an Wirkungsgröße, allenthalben vermeiden soll, wo er nicht als einzig zweckmäßiges Mittel angewendet werden muß (wie beim Einrammen der Pfähle rc.) — so leuchtet auch ein, daß, wenn es wie hier nur auf Erzielung einer gewissen Endgeschwindigkeit ankommt, die in beiden Fällen gleich groß sein soll, die Wirkung durch den momentanen Stoß eine bei Weitem höhere Dampfspannung voraussetzt, als die Wirkung durch continuirlichen Druck, welcher eine gleichförmig beschleunigte Geschwindigkeit erzeugt, wodurch man zu einer Endgeschwindigkeit gelangen kann, die ebenso groß ist, als die durch den Stoß erlangte. Da es nun bei Anwendung des Dampfes wegen der praktischen Ausführung darauf ankommt, mit möglichst gemäßigtem Druck zu arbeiten, so muß man sich sogleich für die letztere Art der Wirkung bei dem Dampfgeschütz entscheiden. Also ist in dieser Hinsicht das Dampfgeschütz dem Pulvergeschütz geradezu entgegengesetzt.

Die momentane Stoßwirkung, welche das Pulver bei seiner Explosion entwickelt, verlangt eine verhältnißmäßig so hohe Spannung der Gase, damit die Kugel mit der erforderlichen Geschwindigkeit den Lauf verläßt — daß der Dampf das niemals zu leisten im Stande wäre. Aber diese Bedingung der Wirkung durch den Stoß liegt in der Natur des Pulvers, und kann nicht geändert werden, so lange man Pulver zu den Geschützen verwendet — während mit der Anwendung des Dampfes zugleich die Bedingung gegeben ist: einen mäßigen Druck continuirlich wirken zu lassen, wodurch die Masse der Kugel eine gleichförmig beschleunigte Geschwindigkeit erhält.

Diese continuirliche Wirkung des Dampfes auf das Projectil wird einfach dadurch erzeugt, daß man das Dampfventil so lange offen läßt, bis die Kugel den Lauf verlassen hat. Vorausgesetzt, daß der Dampfdruck im Kessel dadurch nicht merklich verringert und überhaupt constant erhalten wird, so füllt der Dampf, indem er die Kugel vor sich her treibt, den von derselben verlassenen Raum gleichförmig aus, wobei er beschleunigend auf die Kugelmasse wirkt.

Die Wirkungsgröße W, die der Dampf überhaupt ausübt, ist, wenn er auf die Kugel während des Weges S mit dem gleichförmigen Druck K einwirkt,

$$(1) \quad W = K \,.\, S.$$

Ist nun v die dadurch erzielte Endgeschwindigkeit, wenn die Kugel vom Ge-

---

*) Poncelet, Mécanique industrielle.

**) Prechtl, Technologische Encyklopädie. Bd. III. S. 516 und Jahrbücher des polyt. Instituts zu Wien. Bd. IX. S. 37.

wicht q (in Kilogrammen) den Weg S durchlaufen hat, so ist nach den Gesetzen der gleichförmig beschleunigten Bewegung*)

$$(2) \quad K.S = \frac{q}{2g} . v^2.$$

wobei g, wie immer, die Beschleunigung der Schwere $= 9{,}81^m$ annähernd bedeutet.

Der Weg S, innerhalb welchem die Kraft K wirken kann, ist hier einfach die Länge l des Flintenrohres, weil nur in diesem der Dampf auf die Kugel wirken kann.

Also ist hier $S = l$ (in Metern)

zu setzen, und es kommt nur noch darauf an, den Dampfdruck K näher zu bestimmen. Zu diesem Zweck heiße der Durchmesser des Flintenrohres oder der Kugel d, in Metern (wobei wir beide Durchmesser als gleich annehmen). Dann ist der Querschnitt des Flintenrohres

$$\frac{d^2 \pi}{4} \text{ Quadratmeter.}$$

Dieser Querschnitt wird auf die ganze Länge l des Rohres mit Dampf ausgefüllt, welcher n Atmosphären haben soll, wobei p den Druck in Kilogrammen angiebt, den eine Atmosphäre auf einen Quadratmeter ausübt. Daher ist der Dampfdruck auf die Kugel

$$K = n . p . \frac{d^2 \pi}{4}.$$

also die Wirkungsgröße, während des Weges S.

$$(3) \quad K.S = n.p. \frac{d^2 \pi}{4} . l.$$

Aus der Gleichung (2) ergiebt sich also unmittelbar die **Grundgleichung für die theoretische Dampfwirkung im Dampfgeschütz**, zu

$$(4) \quad \frac{q}{2g} . v^2 = n.p. \frac{d^2 \pi}{4} . l.$$

In dieser Gleichung sind alle Größen, außer g, π und p variabel, doch kann man d und q als gegeben annehmen, da vorauszusetzen ist, daß Durchmesser und Gewicht des Projectiles mit den Verhältnissen, wie sie bei Pulvergeschützen gegeben sind, übereinstimmen.

Die Größen, welche man also hier nach Bedürfniß verändern kann, sind v, n und l, d. h. die **Austrittsgeschwindigkeit der Kugel**, die **Höhe der Dampfspannung** und die **Länge des Flintenrohres**; und man findet nach Formel (4)

$$(5) \quad \begin{cases} v = \sqrt{\dfrac{p}{q} . n . l . \dfrac{d^2 \pi}{4} . 2g} \\[2ex] n = \dfrac{q . v^2}{p . l . 2g . \dfrac{d^2 \pi}{4}} \\[2ex] l = \dfrac{q . v^2}{p . n . 2g . \dfrac{d^2 \pi}{4}}. \end{cases}$$

---

*) Siehe den Artikel. Bd. I. S. 813 rc.

Diese Formeln zeigen:

1) Daß das Gewicht der Kugel im indirecten Verhältniß steht zum Quadrat der Austrittsgeschwindigkeit, daß die Geschwindigkeit der Kugel also, unter sonst gleichen Umständen, um so mehr vergrößert wird, je kleiner das Kaliber des Geschützes ist.

2) Daß die Länge des Rohres im directen Verhältniß steht zum Quadrat der Austrittsgeschwindigkeit, daß die Beschleunigung der Kugel also um so größer wird, je länger das Geschützrohr ist, weil dann natürlich der Dampf um so länger auf die Kugel beschleunigend wirken kann.

3) Daß Dampfspannung und Länge des Rohres im indirecten Verhältniß stehen, daß also die Dampfspannung um so geringer werden kann, je länger das Geschützrohr ist.

Aus Folgerung 1) ergiebt sich schon, daß die Anwendung des Dampfgeschützes um so vortheilhafter sein muß, je kleiner man das Kaliber annimmt. Folgerungen 2) und 3) aber geben uns den Fundamentalsatz, auf welchen Perkins fußte, und der die Anwendung des Dampfes zum Werfen von Projectilen überhaupt praktisch möglich macht.

Welchen Einfluß eine Vergrößerung des Geschützkalibers ausübt, sehen wir, sobald wir annehmen, daß mit der Vergrößerung des Kalibers auch alle Werthe der Formel (4) proportional wachsen. Bezeichnen wir sodann für das Geschütz von größerem Kaliber die Werthe der Formel (4) mit großen Buchstaben, so erhalten wir, da in Formel (5) der Werth

$$\frac{1}{p \,.\, 2g \,.\, \frac{\pi}{4}}$$

ein constanter für beide Kaliber ist, die Proportion

$$(6) \qquad n : N = \frac{q \,.\, v^2}{l \,.\, d^2} : \frac{Q \,.\, V^2}{L \,.\, D^2}$$

Setzen wir nun voraus, daß die Geschützkugeln für beide Kaliber aus demselben Material (Blei oder Eisen) bestehen, so sind die specifischen Gewichte einander gleich und die Kugelmassen sind proportional, d. h.

$$s : S = \frac{d^3}{q} : \frac{D^3}{Q}.$$

Dies in (6) eingesetzt, giebt

$$n : N = \frac{q \,.\, v^2 \,.\, s}{l \,.\, d^2} : \frac{Q \,.\, V^2 \,.\, S}{L \,.\, D^2}$$

oder:

$$(7) \qquad n : N = \frac{v^2 \,.\, d}{l} : \frac{V^2 \,.\, D}{L}$$

welche Formel die oben angeführten Folgerungen bestätigt, daß die Dampfspannung um so geringer sein kann, je kleiner das Kaliber und je größer die Länge des Geschützrohres ist.

Aus Formel (7) ergeben sich demnach die proportionalen Werthe von N, L und V zu

$$(8)\begin{cases} N = n \cdot \frac{D}{d} \cdot \frac{l}{L} \cdot \frac{V^2}{v^2} \\ L = l \cdot \frac{D}{d} \cdot \frac{n}{N} \cdot \frac{V^2}{v^2} \\ V = v \cdot \sqrt{\frac{N}{n} \cdot \frac{d}{D} \cdot \frac{L}{l}} \end{cases}$$

Diese Formeln geben nur annähernde Werthe, dienen jedoch als Anhalt für die allgemeine Beurtheilung des Dampfgeschützes. Eine praktische Berechnung läßt sich darauf noch nicht gründen, wohl aber eine theoretische Vergleichung mit der Wirkung des Pulvers und der comprimirten Luft. Praktischen Werth würden diese Formeln erst erhalten, wenn man sämmtliche Widerstände und Kraftverluste in Rechnung brächte, die in der Ausführung sich geltend machen. Es ist hier nicht der Ort, eine erschöpfende Theorie des Dampfgeschützes aufzustellen, daher seien nur die hauptsächlichen Widerstände und Kraftverluste angeführt, welche entweder als selbstständige Größen, oder als Erfahrungscoefficient in die Hauptformel (4) eingeführt werden müßten.

1) Dampfverluste, theils durch Abkühlung, theils durch Entweichen des Dampfes.

Die Abkühlung und dadurch verursachte Verminderung der Spannung des Dampfes findet schon in den Leitungsröhren, hauptsächlich aber im Geschützrohr statt, weil dieses wegen dem Richten und Zielen nicht durch Umwickelung ꝛc. vor Abkühlung geschützt werden kann. In Folge dessen wird bei jedem Schuß sich etwas Dampf condensiren, das Rohr dadurch immer feuchter und die Spannung des Dampfes bei den späteren Schüssen immer geringer werden.

Ein langes Geschützrohr ist daher wegen der Abkühlung des Dampfes nicht vortheilhaft. Je länger das Rohr, desto größer ist auch der Dampfverlust durch Entweichen, wegen des Spielraumes der Kugel im Rohr. Dieser Spielraum kann bei bleiernen Kugeln noch am Meisten vermieden werden, indem man das Kaliber der Bleikugel dem der Bohrung nahezu gleich machen kann.

Auf die Menge des verbrauchten Dampfes, dem Gewichte nach, hat die Länge des Rohres direct keinen Einfluß, weil die Spannung des Dampfes im Verhältniß der Länge des Rohres abnimmt, folglich zur Ausfüllung des längeren Rohres um ebenso viel weniger dichter Dampf verwendet wird. Es leuchtet aber ein, daß, wenn man das Rohr sehr lang machen wollte, um nach Formel (5) eine möglichst niedere Dampfspannung im Kessel zu erhalten, diese Spannung bei jedem Schuß sich vermindern und die Kugel daher beim Austritt aus dem Lauf eine viel geringere Geschwindigkeit erhalten müßte, als berechnet war, da in der Formel vorausgesetzt ist, daß die Spannung n. p des Dampfes sich innerhalb des Geschützrohres nicht ändert. So vortheilhaft also auf der einen Seite ein langes Rohr für die niedere Dampfspannung sich erweist, so sieht man, daß diese Länge sehr bald eine Grenze haben muß, weil dadurch auch noch andere Widerstände vermehrt werden, nämlich:

2) die Reibung der Kugel an der Seele;

3) der Verlust an lebendiger Kraft durch Stoß der Kugel gegen die Seele und durch Rückstoß (recul) gegen das Kugellager;

4) der Gegendruck der atmosphärischen Luft, besonders innerhalb des Rohres *).

Auch die Contraction des Dampfstrahles beim Uebertritt desselben aus dem Dampfhahn in das Geschützrohr und die dadurch verminderte Dampfmenge, welche im Rohr sich wiederum ausdehnt, jedoch dann mit geringerer Spannung wirkt, so wie die Adhäsion und Reibung des Dampfes an der mit Condensationswasser befeuchteten Seele des Rohres seien hier erwähnt.

Alle diese Widerstände, mehr oder weniger wichtig, modificiren die Formeln (4) und (5) bedeutend, und setzen eine praktische Grenze, sowohl für die Länge des Rohres, als für die Anwendung des Dampfgeschützes überhaupt.

Auch die vermehrte Schwierigkeit einer guten Bohrung bei größerer Länge des Rohres gebietet Mäßigung in den Dimensionen, so daß man 8 Fuß englisches Maß als Maximum der Rohrlänge ansehen kann, welche Länge auch Perkins bei seinen neuesten Geschützen anwendet.

Ebenso beschränkt ist der Durchmesser des Rohres, folglich das Kaliber der Kugel. Schon die Formel (5) sagte aus, daß die möglichst zu vermindernde Dampfspannung ein kleines Kaliber verlangt. Doch ist klar, daß bei großem Kaliber auch die zu verbrauchende Dampfmenge sich so bedeutend steigert, daß man den Dampf, zumal bei so hoher Spannung, unmöglich constant erhalten kann. Ferner vermehren sich alle Widerstände, hauptsächlich die Reibung der Kugel in der Seele. Endlich soll die Austrittsgeschwindigkeit bei vermehrter Masse der Kugel immer größer werden, während die Formel (5) gerade umgekehrt sagt, daß die Austrittsgeschwindigkeit der Kugel um so größer sein wird, je kleiner das Kaliber des Geschützes ist. Aus diesen Gründen ist also hier der Grenzwerth sehr bald erreicht, so daß man 1 Zoll englisch als Maximum des Durchmessers der Kugel ansehen kann. Die Dimension bei Perkins ist gewöhnlich nur $1/2$ Zoll englisch.

Man ersieht daraus, daß von Dampfkanonen niemals die Rede sein kann, und daß nur Dampfflinten der praktischen Anwendung fähig sind. Innerhalb der angegebenen Grenzen geben aber die Dampfflinten, gegenüber den Pulvergeschützen, einen sehr vortheilhaften Nutzeffect, wie wir sogleich betrachten wollen. Daß die Dampfgeschütze trotzdem in unverdienten Mißcredit kamen, hat seinen Grund besonders darin, daß man mit übertriebenen Erwartungen an diese Erfindung ging, welche durch die ächt amerikanische Prahlerei von Perkins noch gesteigert wurden **). Man träumte von Dampfkanonen, während doch eine ganz einfache Betrachtung uns zeigt, daß diese unmöglich sind. Auch der Umstand, daß Perkins nach Frankreich die ersten Dampfgeschütze dem Contract gemäß unmöglich liefern konnte, wie schon oben (S. 210) erwähnt ward, bereitete der Erfindung schon bei ihrer Geburt eine empfindliche Niederlage. Entweder hat Perkins sich selbst getäuscht, oder doch versucht, Andere zu täuschen — denn:

---

*) Ueber den Widerstand der Luft gegen Projectile überhaupt, siehe unter Anderen: Poncelet, Mécanique industrielle. 1. volume, §§. 438, 444, 447 und Mémoire présenté à l'Academie des sciences à Paris, 1836, par Piobert, Morin et Didion.

**) Außer anderen, schon oben angeführten Uebertreibungen, behauptete auch Perkins ohne Weiteres, „durch Anwendung des Dampfes bei grobem Geschütz von Dower bis Calais zu schießen!"

4pfündige Kanonen mit unzerstörbarem Generator und constantem Dampfdruck zu liefern — konnte Perkins sich nur vermessen, so lange er keinen Blick in die einfachsten Grundgesetze der Mechanik gethan hatte *).

Es bleibt uns noch die numerische Berechnung einiger Beispiele und die Vergleichung des Nutzeffectes zwischen Dampf, Pulver und comprimirter Luft übrig. Zu dem Zweck wählen wir nach Poncelet **) folgende Dimensionen für ein französisches Militärgewehr (de munition ordinaire), wobei 19 Kugeln auf 1 Pfund gerechnet werden.

Der Durchmesser der Kugel ist 16,4 Millimeter, das Gewicht 25,8 Grammes und die Pulverladung würde 12,9 Grammes betragen (oder die Hälfte des Kugelgewichts), bei welcher Ladung die Kugel eine Anfangsgeschwindigkeit von 500^m im Mittel erhalten soll. Die Länge des Flintenlaufes, welche die Kugel zu durchlaufen hat, ist $1^m,1$. Diese Werthe in Formel (5) eingesetzt, um die Höhe der Dampfspannung für die Anwendung dieser Dimensionen auf Dampfgeschütze zu finden, giebt:

$q = 0^k,0258$
$v = 500^m$
$l = 1^m,1$
$d = 0^m,0164$
$g = 9^m,81$
$p = 10330^k$ (Druck einer Atmosphäre auf 1 Quadratmeter)

also:

$$n = \frac{0,0528 . (500)^2}{10330 . 1,1 . 2 . 9,81 . (0,0164)^2 . \frac{\pi}{4}}$$

oder:

$n =$ circa 137 Atmosphären.

Dieser Dampfdruck ist offenbar viel zu hoch, weil man mit Prechtl ***) annehmen kann, daß wegen der praktischen Schwierigkeiten, welchen die Herstellung und Erhaltung eines Apparates für Dämpfe von hoher Spannung unterliegt, ein Druck von circa 100 Atmosphären für die äußerste praktische Grenze anzusehen ist, bis zu welcher die Ausführung solcher Apparate für eine längere Dauer einige Garantie bietet.

Aber selbst der noch zulässigen Spannung von 100 Atmosphären bedarf es nicht, sobald wir dem Geschützrohr, das bei obiger Rechnung nur die Länge der Militärgewehre hatte, die Länge von Perkins' Dampfrohren geben, d. h. 8 Fuß engl. = circa $2^m,5$.

---

*) Ein neuer Beweis zu den vielen, daß die sogenannten Praktiker es sind, welche anscheinend die Theorie, in der That aber sich selbst in Mißcredit bringen. Das vornehme Ignoriren der Grundgesetze der Mechanik, worauf leider noch viele Praktiker stolz sind, hat sich jedoch so oft und so entschieden gerächt, daß die Zeit nicht mehr fern ist, wo man erkennen wird, daß Praxis ohne Theorie ein Unding sei, — obgleich nicht zu verkennen ist, daß die Theoretiker auch ihrerseits ebenso viel von ihrem Schulstaub abschütteln müssen, als die Praktiker von ihren Werkstattvorurtheilen. Anm. d. Verf.

**) Mécanique industrielle. Vol. I. §. 178.

***) Prechtl, Technologische Encyklopädie. Bd. III. S. 517.

Außerdem ist die Anfangsgeschwindigkeit der Kugel zu 500ᵐ von Poncelet offenbar zu hoch angegeben (denn 500ᵐ ist die Anfangsgeschwindigkeit einer 24pfündigen Kanonenkugel). Coriolis *) nimmt diese Geschwindigkeit nur zu 390ᵐ an, Prechtl **) zu 1200 Fuß engl. oder 366ᵐ.

Indem wir uns der Annahme von Perkins und Coriolis anschließen, wobei also

$l = 2^m,5$

$v = 390^m$

wird, erhalten wir:

$$n = \frac{0,0258\,.\,(390)^2}{10330\,.\,2,5\,.\,19,62\,.\,0,00027\,.\,0,785.}$$

oder:

$n =$ circa 36,5 Atmosphären,

eine Spannung, welche durchaus keine praktischen Hindernisse findet und bei welcher auch der Dampf constant erhalten werden kann. Perkins nimmt gewöhnlich 40 Atmosphären an, eine bequeme Zahl, die man als Mittelwerth festhalten kann.

Die früher erwähnten Widerstände, welche diese theoretischen Angaben verringern, haben nur Einfluß auf die Austrittsgeschwindigkeit v der Kugel und auf die verbrauchte Dampfmenge von bestimmter Spannung, eine Größe, welche in obiger Formel nicht enthalten ist, weshalb für dieselbe eine besondere Formel aufgestellt werden muß.

Die Geschwindigkeit v aber kann durch Reibung, Stoß und verminderte Spannung des Dampfes verringert werden, ohne daß der Wirkung des Geschützes dadurch besondere Nachtheile entstehen, da nicht die Tragweite, sondern die rasche Aufeinanderfolge der Schüsse die Hauptaufgabe und der Hauptvorzug des Dampfgeschützes ist. Deshalb kann, wenn die theoretische Geschwindigkeit v von 390ᵐ selbst auf 300ᵐ herabsinkt, der Zweck des Dampfgeschützes noch vollkommen erreicht werden, nämlich: continuirlich das zu leisten, was ein Kartätschenschuß aus grobem Geschütz periodisch bewirkt.

Bei 300ᵐ Anfangsgeschwindigkeit würden die Kugeln nach Piobert ***), bei horizontalem Wurf und vollkommen ruhiger Luft (abstrahirt vom Gewicht der Kugel), noch immer einen Weg von 2100ᵐ durchlaufen, woraus die wirksame Schußweite nach den Regeln der Ballistik leicht zu berechnen ist. Für eine Endgeschwindigkeit z. B. von 250 Fuß englisch, wobei die Kugel noch immer eine lebendige Kraft von

$$\frac{q}{2\,g}\,.\,v^2 = \frac{0,057^{\text{ Pfund}}}{64,4^{\text{ Fuss}}}\,.\,(250)^2$$

$=$ circa 55 Fußpfund englisch

*) Coriolis, Calcul de l'effet des machines.

**) Prechtl, Technologische Encyklopädie. Bd. III. S. 518.

***) Piobert, Morin et Didion, Mémoire etc. 1836. Siehe auch: Poncelet, Mécanique industrielle. Vol. I. §. 447.

entwickelt, ist die Tragweite des Geschützes, bei 984 Fuß engl. Anfangsgeschwindigkeit, nach der Annäherungsformel *) von Hutton

$$x = 1338 . D . \lg. vulg. \left(\frac{v' - 231}{v - 231}\right)$$

wobei:

$$D = \text{Durchmesser der Kugel} = 0,65 \text{ Zoll engl.}$$

$$\left.\begin{array}{l} v = 984 \\ v' = 250. \end{array}\right\} \text{Fuß engl.}$$

Folglich:

$$x = 1338 . 0,65 . \log \left(\frac{984-231}{250-231}\right)$$

oder:

$$x = \text{circa } 1390 \text{ Fuß engl.}$$

Die wirksamste Kartätschenschußweite beträgt ungefähr 400—500 Schritt, d. h. 1000—1200 Fuß engl. Also kann man die Endgeschwindigkeit v' selbst zu 300 Fuß annehmen, wodurch man per Kugel eine lebendige Kraft von 70 Fußpfund und eine Tragweite von 900 Fuß erhält.

Es wurde schon oben bemerkt, daß die rasche Aufeinanderfolge der Schüsse der Hauptvorzug des Dampfgeschützes sei. Die Erfahrung hat gezeigt, daß 120 Schuß per Minute aus der Dampfflinte eine Leistung ist, welcher dieselbe bei 40 Atmosphären Dampfdruck vollkommen entspricht. Perkins hat, wie früher angeführt, die Aufeinanderfolge der Schüsse per Minute noch bedeutend gesteigert, doch ist es bei über 200 Schuß per Minute nicht möglich, den Dampf bei constantem Druck zu erhalten.

Giebt im Allgemeinen

m die Anzahl der Schüsse aus der Dampfflinte per Minute an, ist ferner

d der Durchmesser des Geschützrohres } in Metern
l die Länge desselben }

und Δ in Kilogrammen das Gewicht eines Cubikmeters Dampf von n. p Kilogr. Druck auf den Quadratmeter, so wird die, für m Schüsse erforderliche Dampfmenge Q gefunden zu

$$(9) \quad Q^{Kbm.} = \frac{d^2 \pi}{4} . l . m.$$

dem Volumen nach; oder:

$$Q^{Kilgr.} = \frac{d^2 \pi}{4} . l . m . \Delta$$

dem Gewichte nach.

Wegen der oben angeführten Dampfverluste durch Abkühlung und Entweichen und wegen des Spannungsverlustes durch Expansion kann man aber rechnen, daß doppelt so viel Dampf verbraucht wird, also daß

$$(10) \quad Q^{Kilgr.} = 2 . m . \Delta . l . \frac{d^2 \pi}{4}.$$

---

*) Siehe u. A. Gehler's Physik. Wörterbuch, Art. Ballistik. Bd. I. S. 736, und Hutton Tracts. T. III. p. 251.

In unserem früheren Beispiel war

$l = 2^m,5$

$d = 0^m,0164$

$m = 120$ Schuß per Minute

und Δ ist für 40 Atmosphären *) Druck = 16,644 Klgr. Folglich

$$Q = 2 . 120 . 2,5 . 0,000212.$$

oder:

$Q = 0,1272$ Kbkm. Dampf per Minute dem Volumen nach,

und:

$Q = 0,1272 . 16,644 = 2,117$ Klgr. Dampf per Minute dem Gewichte nach.

Nun liefert nach Redtenbacher **) 1 Quadratmeter Heizfläche eines guten Kessels per Minute 0,4 Klgr. Dampf.

Unser Dampfgeschütz verlangt also einen Kessel von

$$\frac{2,1}{0,4} = 5,25 \text{ Quadratmeter Heizfläche.}$$

Ein gewöhnlicher einfach cylindrischer Dampfkessel für Landmaschinen bedarf nach Redtenbacher 1 Quadratmeter Heizfläche per Pferdekraft, demnach erfordert unser Dampfgeschütz einen Kessel, wie er für eine Dampfmaschine von 5,25 Pferdekraft construirt wird, wobei per Minute im Mittel 0,4 Klgr. oder per Stunde 24 Klgr. Steinkohlen verbraucht werden.

Es ist nun zunächst in Frage, ob das Dampfgeschütz auch diesen Leistungen entspricht, d. h. ob es eine Wirkungsgröße entwickelt, welche einer Arbeit von $5^1/_4$ Pferdekräften annähernd entspricht. Die Beantwortung dieser Frage ist schon in den bisherigen Angaben enthalten.

Wir setzen, nach dem früheren

$q = 0^k,0258$

$v = 390^m$

$2g = 19^m,62$

$n = 36,5$ Atmosphären

$p = 10330$ Klgr.

$l = 2^m,5$

$d = 0^m,0164$

Nun ist nach den Formeln (2) und (3)

$$K S = \frac{q}{2g} . v^2 \text{ und auch}$$

$$K S = n . p . \frac{d^2 \pi}{4} . l.$$

Also einestheils ist die, durch eine geworfene Kugel entwickelte Wirkungsgröße

$$W = \frac{0,0258}{19,62} . (390)^2 = 200 \text{ Klgrmeter,}$$

anderntheils muß die, durch den verbrauchten Dampf entwickelte Wirkungsgröße theoretisch der ersteren gleich sein, d. h.

*) Siehe die Tabelle im Artikel Dampfmaschine.

**) F. Redtenbacher, Resultate für den Maschinenbau. §. 229. S. 186.

$$W = 36{,}5 \cdot 10330 \cdot 0{,}00027 \cdot 0{,}785 \cdot 2{,}5 = 200 \text{ Klgrmeter.}$$

Weil aber an lebendiger Kraft der Kugel dadurch verloren geht, daß die Kugel vermöge der Widerstände nicht mit 390^m Geschwindigkeit, sondern z. B. nur mit 300^m austritt, so bedarf man verhältnißmäßig mehr Wirkungsgröße des Dampfes, um die Verluste zu ersetzen und die Widerstände zu überwinden.

Bei 300^m Geschwindigkeit entwickelt die Geschützkugel nur

$$\frac{0{,}0258}{19{,}62} \cdot (300)^2 = 117{,}33 \text{ Klgrmeter. lebendige Kraft.}$$

Dies giebt $\frac{117{,}33}{2{,}5} = 47$ Klgr. mittleren Druck, auf 1 Meter Rohrlänge reducirt, oder $\frac{47}{2{,}112} = 22{,}4$ Klgr. mittleren Druck, auf 1 Quadratcentimeter Querschnitt der Seele, welchem Druck eine Dampfspannung von 21,36 Atmosphären entspricht. Daß man trotzdem nicht 21,36, sondern 36,5 Atmosphären Spannung bedarf, kommt auf Rechnung der Verluste und Widerstände, und die Dampfflinte würde demnach bei diesem ungefähren Ueberschlag

$$\frac{21{,}36}{36{,}5} = 58{,}5 \text{ Proc. Nutzeffect oder } 3{,}3 \text{ Pferdekraft Effectivleistung}$$

geben. Sie wird aber 70 Proc. geben, sobald die Kugel dicht in den Lauf paßt, der Dampf vor Abkühlung geschützt ist, und dadurch die Austrittsgeschwindigkeit der Kugel der theoretischen Geschwindigkeit von 390^m näher gebracht wird, da die Annahme von 300^m als Minimum der Geschwindigkeit gelten kann.

Theoretisch und abgesehen von den Verlusten, entwickelt also die Dampfflinte eine Wirkungsgröße von 200 Klgrmeter. Dies giebt einen mittleren Druck von $\frac{200}{2{,}5} = 80$ Klgr. auf 1 Meter Rohrlänge reducirt, oder einen Mitteldruck von

$$\frac{80}{2{,}112} = \text{circa } 38 \text{ Klgr.}$$

auf 1 Quadratcentimeter der Seele, welcher Druck einer Spannung von circa 37 Atmosphären entspricht, in Uebereinstimmung mit der Annahme, daß $n = 36{,}5$ Atmosphären sei. Diese 200 Kilogrammeter entwickelte Arbeit der Kugel wiederholt sich aber per Minute 120 Mal, da die Dampfflinte in dieser Zeit 120 Schüsse thut.

Der Effect E ist also per Secunde

$$E = \frac{q}{2g} \cdot v^2 \cdot \frac{m}{60} \text{ oder}$$

$$E = 200 \cdot \frac{120}{60} = 400 \text{ Klgrm. per Secunde.}$$

Da nun die Pferdekraft einer Dampfmaschine per Secunde zu 75 Klgrmeter. angenommen ist, so entwickelt die Dampfflinte, im Vergleich mit einer Dampfmaschine, eine Arbeit von

$$N = \frac{400}{75} = 5{,}5 \text{ Pferdekräften}$$

welches Resultat mit dem früheren genau genug übereinstimmt. Man ersieht daraus, daß, wenn die Dampfflinte auch einen Kessel von circa 5,25 Pferdekräfte verlangt, sie dafür eine Arbeit leistet, welche diesen Forderungen vollkommen entspricht.

Zur Vergleichung sei hier zuerst das Beispiel eines 6Pfünders gewählt, welcher mit Kartätschen feuert. Ein 6Pfünder kann in 2 Minuten 7 Mal feuern, und wirft bei jedem Schuß 56 Kartätschen von 6 Loth, mit 300^m Geschwindigkeit. Er bedarf dazu 8—10 Mann Bedienung und für jeden Schuß 1 Klgr. Pulver.

Jede einzelne Kartätsche entwickelt (da 6 Loth = circa $0^k,1$ sind)

$$\frac{0,1}{19\ 62} \cdot (300)^2 = 459^{km.}$$

Arbeit. Jeder Schuß also

$$459 \cdot 56 = 25704 \text{ Klgrmeter.}$$

folglich 3,5 Schuß per Minute

circa 1500 Klgrmeter. per Secunde, oder

$$\frac{1500}{75} = 20 \text{ Pferdekraft.}$$

Dazu bedarf es 3,5 Klgr. Pulver per Minute, im Preise von 7 Fres. für das Gouvernement. Da nun unsere Dampfflinte bei 120 Schüssen per Minute 5,5 Pferdekraft leistet, so würden 4 Dampfflinten, neben einander angebracht, ungefähr dasselbe leisten, als ein Sechspfünder, dem Effect der Pferdekräfte nach. Doch werfen diese 4 Dampfflinten

$$120 \cdot 4 = 480 \text{ Kugeln}$$

von 1,6 Loth Gewicht, während der 6Pfünder 196 Kugeln von 6 Loth wirft.

Zur Bedienung brauchten diese 4 Dampfflinten höchstens 8 Mann, und zur Feuerung per Stunde 24 . 4 = 96 Klgr. Steinkohlen im Preise von 3 Fres. per Stunde, während der 6Pfünder 7 Fres. per Minute kostet.

Daß die Resultate sich weit ungünstiger gestalten, sobald man statt einer Dampfflinte eine Dampfkanone construirt, ist schon früher erwähnt. Schon die Formeln und eine einfache Betrachtung sagen es aus, — doch zeigt das ein numerisches Beispiel noch deutlicher. Wir wählen die Dimensionen absichtlich groß, um die Unterschiede in den Resultaten um so auffallender zu machen.

Ein 24Pfünder hat nach Poncelet *) folgende Dimensionen:

Gewicht der Kugel . . $q = 12$ Kilogr.
Geschwindigkeit . . . $v = 500$ Meter.
Durchmesser der Seele $d = 0^m,15$.
Länge der Seele . . $l = 3^m,10$.

Die Pulverladung würde 3 Kilogr. betragen. Die Dampfspannung ergiebt sich zu

$$n = \frac{12 \cdot (500)^2}{10330 \cdot 3,10 \cdot 19,62 \cdot (0,15)^2 \cdot 0,785}$$

oder:

$$n = \text{circa } 270 \text{ Atmosphären}$$

d. h. ungefähr ebensoviel Kilogrammen Druck auf 1 Quadratcentimeter. Diese

---

*) Mécanique industrielle. Vol. I. §. 175 u. 177.

Spannung ist begreiflicherweise so hoch, daß ein solches Geschütz nicht ausführbar wäre, zumal da das doppelte Dampfquantum, per Minute 10 Schüsse gerechnet,

$$2 . 10 . (0{,}15)^2 . 3{,}10 . 0{,}785 = 1{,}1 \text{ Kbkmeter.}$$

oder circa 90 Kilogrammen

beträgt, was einen Kessel von

$$\frac{90}{0{,}4} = 225 \text{ Quadratmeter Heizfläche}$$

oder von ebenso viel Pferdekräften verlangte, wogegen freilich auch die Leistung dieses furchtbaren Geschosses bei jedem Schuß

$$\frac{12}{19{,}62} . (500)^2 = 152900 \text{ Klgrmeter.}$$

also per Minute zu 10 Schüssen

1529000 Klgrmeter.

beträgt, was eine Arbeit von

$$\frac{1529000}{60 . 75} = 340 \text{ Pferden}$$

theoretisch liefern würde.

Wenn auch der hohe Druck der Ausführung kein Hinderniß in den Weg legte, so wäre es doch unmöglich, das verlangte Dampfquantum bei diesem Druck constant zu erhalten, abgesehn davon, daß ein 225pfündiger Kessel für eine Kanone in der Anwendung sich von selbst verbieten würde.

Man könnte allerdings den Dampfdruck um die Hälfte verringern, indem man die Länge des Kanonenlaufes verdoppelte, auf 6 Meter. Bei diesem Dampfdruck von circa 135 Atmosphären verdoppelte sich aber auch die Dampfmenge auf circa 2 Kubikmeter per Minute, ebenfalls von 90 Kilogrammen Gewicht. Der Kessel könnte nicht kleiner werden, weil die Leistung dieselbe bleibt. Durch diese Verlängerung des Geschützrohres auf circa 20 Fuß englische Länge wäre also Nichts gewonnen, als ein Geschütz, das nicht mehr zu dirigiren wäre.

Dies zeigt hinlänglich, daß die Herstellung von Dampfkanonen niemals weder mechanisch noch strategisch gerechtfertigt werden kann. Das thut aber der Brauchbarkeit der Dampfflinten nicht den geringsten Eintrag, sobald man bei der Ausführung und Anwendung dieser Geschütze innerhalb der mechanischen, d. h. vernunftgemäßen Grenzen bleibt.

Wir haben gesehen, daß unsere Dampfflinte von $2^m{,}5$ Länge und circa 26 Grammen Kugelschwere bei 36,5 Atmosphären Spannung und einer Kugelgeschwindigkeit von 390^m, eine theoretische Leistung von 5,5 Pferdekraft ausübt und bei einem Nutzeffect von 60 Proc. im Minimum (für 300^m Kugelgeschwindigkeit) noch immer mit

$$5{,}5 . 0{,}6 = 3{,}3 \text{ Pferdekraft}$$

arbeitet.

Um diese Leistung gegenüber den Pulvergeschützen zu würdigen, stellen wir ferner folgende Vergleichungen an.

Dasselbe französische Militärgewehr, dessen Dimensionen wir nach Poncelet dem Dampfgewehr zu Grunde legten (nur mit dem Unterschied, daß die Länge desselben $1^m{,}1$ für die Pulverladung von $0^k{,}0129$ beträgt, bei einem Kugel-

gewicht von $0^k,0258$ und einer effectiven Kugelgeschwindigkeit von 390^m), entwickelt ebenfalls bei jedem Schuß eine lebendige Kraft von

$$\frac{0,0258}{19,62} \cdot (390)^2 = 200 \text{ Klgrmeter.}$$

Dieses Gewehr kann aber in der Minute höchstens 6 Mal (und bei dieser Schnelligkeit noch ohne alle Sicherheit des Treffens) abgeschossen werden, liefert also im Maximum einen Effect von $200 \cdot \frac{6}{60} = 20$ Klgrmeter. per Secunde oder von

$$\frac{20}{75} = 0,266 \text{ Pferdekraft.}$$

Selbst wenn wir ein Zündnadelgewehr mit Spitzkugeln annehmen, das per Minute 12 Mal geladen werden kann (aber dann sicherlich ohne alle Garantie), erhalten wir erst etwas über $^1/_2$ Pferdekraft Leistung per Mann und Gewehr, während die 2 Mann, welche zur Bedienung eines Dampfgewehres nöthig sind, mit ihren Flinten Jeder mindestens die Arbeit von 2 Pferdekräften leisten.

Dabei ist zu bedenken, daß der Druck, den das Pulver auf das Gewehr ausübt, in gar keinem Verhältniß steht zu der lebendigen Kraft, welche der Kugel dadurch mitgetheilt wird. Man muß wohl unterscheiden zwischen dem mittlern Druck und dem Effectivdruck, den das Pulver bei jeder Position der Kugel im Lauf ausübt. Der Effectivdruck ist natürlich je nach der Position variabel, während der mittlere Druck beim Pulver nur eine berechnete, angenommene Größe, beim Dampf dagegen die reell wirksame Größe ist. Der Dampf wirkt auf die Kugel durch Druck, das Pulver durch Stoß. Der Dampf behält während seiner Wirksamkeit im Gewehrlauf seine gleichmäßige Spannung bei — das Pulvergas ändert sie in fast untheilbaren Zeitmomenten. Beim Beginn der Entzündung des Pulvers ist der Effectivdruck des Gases unter dem mittleren Druck, ebenso beim Austritt der Kugel aus dem Lauf. Dagegen ist nach vollkommener Entzündung des Pulvers der Effectivdruck des Gases außerordentlich groß, so daß der mittlere Druck bedeutend differirt mit dem Totaldruck, den die Pulvergase ausüben können. Sie sind aber im Moment der höchsten Spannung auf den kleinen Raum beschränkt, den das Pulver während der Entzündung selbst einnimmt, so daß sie sich auf keine Weise so schnell ausdehnen können, als erforderlich wäre, um diese Wirkungsgröße nutzbar zu machen. Sie wirken also nur durch Stoß auf die Kugel, und bei Weitem der größte Theil der höchsten Spannung drückt auf die Bohrung der Seele und äußert sich durch Rückstoß (recul) und Mulecularerschütterungen des Laufes*). Nach Rumfort sollte das Pulver im Moment der höchsten Spannung mit 50000 Atmosphären wirken. Brianchon fand durch Calcul die absolute Pressung zu 4000 Atmosphären, Hutton zu 2000 Atmosphären. Doch auf alle diese und ähnliche Angaben influirt die Art, wie man das Pulver prüft und die Pression mißt, so sehr auf die Resultate, daß ein sicherer Schluß daraus nicht zu ziehen ist. Am wahrscheinlichsten und sichersten sind wohl die Messungen, die Marchand in Halle im Verein mit Hankel auf thermo-elektrischem Wege

---

*) Siehe darüber: die Artikel Schießpulver (Bd. VIII. u. X.) und Ballistik (Bd. I. u. X.) in Gehler's Phys. Wörterb. — Desgl. Schießpulver in Prechtl's techn. Encyklopädie. Bd. 12. S. 381 ff.

veranstaltete, die aber bis jetzt noch nicht veröffentlicht sind. Marchand giebt jedoch das Hauptresultat an anderem Orte an *). Er sagt, daß er in Uebereinstimmung mit Hansteen, W. Moore und Hutton durch Berechnung der Menge der entwickelten Gase und Beobachtung der Explosionstemperatur den Druck der Pulvergase zu 2000 Atmosphären gefunden habe. Dieselbe Zahl nimmt auch Prechtl an, so daß man sie als der Wirklichkeit am Nächsten festhalten kann.

Bedenkt man nun, daß der Effectivdruck des Pulvers in einem gewöhnlichen Militärgewehr 2000 Atmosphären, wenn auch nur momentan, beträgt, und daß dadurch dennoch nur eine lebendige Kraft von 200 Klgrmeter. zur Wirksamkeit kommt, so verschwindet dagegen der Druck von 137 Atmosphären, der gefordert wurde, um bei derselben Gewehrlänge von $1^m,1$ das Gleiche durch Dampfdruck zu leisten, und der auf 36,5 Atmosphären herabsank, sobald wir eine Gewehrlänge von $2^m,5$ annahmen.

Auch der mittlere Druck, den das Pulvergas auf die ganze Rohrlänge ausübt, ist noch groß genug, wenn wir ihn auch nur nach der lebendigen Kraft abschätzen, die er entwickelt. Die Wirkungsgröße von 200 Klgrmeter. ist während einer Länge von $1^m,1$ wirksam, folglich ist der mittlere Druck auf 1^m Rohrlänge reducirt,

$$\frac{200}{1,1} = \text{circa 182 Kilogr.,}$$

und da der Querschnitt der Seele 2,112 Quadratcentimeter beträgt, ist der mittlere Druck auf den Quadratcentimeter

$$\frac{182}{2,112} = 86,6 \text{ Kilogr.}$$

welcher einer Spannung von circa 85 Atmosphären entspricht. Poncelet findet sogar 140 Atmosphären, indem er für die Geschwindigkeit der Kugel 500^m annimmt, und dadurch eine lebendige Kraft von 334 Kilogr. erhält, welcher 140 Atmosphären entsprechen.

Noch schlagender ist das Beispiel mit einem 24Pfünder, welcher, um mit Dampf bedient zu werden, eine Dampfspannung von 270 Atmosphären verlangte, jedoch dafür eine Arbeit von 200—300 Pferden leisten würde. Beim Pulver stellt sich das Verhältniß ganz anders heraus.

Der 24Pfünder hatte nach Poncelet ein Kugelgewicht von 12 Kilogr. und eine Pulverladung von 4 Kilogr., wobei der Kugel eine Geschwindigkeit von 500^m ertheilt wird. Die totale lebendige Kraft der Kugel beträgt dann 152905 Klgrmeter., während der Rücklauf der Kanone mit einer Geschwindigkeit von $1^m,67$ erfolgt, so daß die dadurch verlorene lebendige Kraft bei dem 300fachen Gewicht des Geschützes gegen die Kugel noch immer 510 Kilogr. beträgt. Der Totaleffect, den das Pulver entwickelt, ist daher 153415^{km}. Da eine Dampf-Pferdekraft 75^{km} per Secunde beträgt, so würde eine solche Pferdekraft

$$\frac{153415}{75} \,.\, 2045,5 \text{ Secunden} = 34 \text{ Minuten lang wirken}$$

müssen, um denselben Effect hervorzubringen, oder umgekehrt 2045,5 Pferdekräfte

*) Marchand in Liebig's Wörterbuch der Chemie, Artikel Geschützmetall.

eine Secunde lang. Angenommen, daß ein solches Geschütz per Minute 2 Mal geladen und gerichtet werden könnte, so erfolgte in 30 Secunden ein Schuß, folglich bedürfte es einer Dampfmaschine von nur

$$\frac{2045,5}{30} = 68,2 \text{ Pferdekräften,}$$

um dasselbe zu leisten, vorausgesetzt, daß kein Verlust an lebendiger Kraft stattfände und dieselbe sämmtlich auf die Kugel übertragen werden könnte.

Da nun die Länge der Seele des Geschützes $3^{m},10$ und die Bohrung 15 Centimeter ist, findet man den constanten mittleren Druck, den die Pulvergase auf die Kugel und das Kugellager (den Stoß) ausüben müßten, um die Arbeit von 153415^{km} zu entwickeln, während die Kugel das Innere der Seele, oder einen Raum von $2^{m},75$ durchläuft (weil $0^{m},35$ für die Pulverladung ꝛc. von der Seelenlänge abgezogen werden müssen), zu

$$\frac{153415}{2,75} = 55787 \text{ Kilogr.}$$

Da dieser Druck mit gleicher Intensität auf die ganze Kreisoberfläche des Querschnittes der Seele wirkt, welche, bei 15^{cm} Diameter,

$$(15)^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 176 \text{ Quadratcentim.}$$

beträgt, ist die Pression auf jeden Quadratcentimeter

$$\frac{55787}{176} = 317 \text{ Kilogr.}$$

Dies entspricht einem Druck von 307 Atmosphären, also ist der reelle mittlere Druck der Pulvergase auf die Geschützseele 308 Atmosphären — in Berücksichtigung, daß auch der äußere Luftdruck der Atmosphäre noch zu überwinden ist.

Die Zeit, in welcher diese Arbeit erzeugt werden kann, als constant angenommen und nach den Regeln des Stoßes der Körper berechnet*), — vorausgesetzt, daß die Kugel durch den Stoß eine Geschwindigkeit von 500^{m} erhält, — findet man zu

$$\frac{12^{kil} \cdot 500^{m}}{9^{m},81 \cdot 55787^{k}} = 0'',011$$

$$\text{oder ungefähr } \frac{1}{91} \text{ Secunde.}$$

Aber bei der Rapidität, mit welcher die Pression in den ersten Momenten der Entzündung des Pulvers wächst, darf man voraussetzen, daß die Zeitdauer, in welcher die Kugel die Geschützseele durchläuft, noch weit geringer ist.

Während die Dampfkanone also nur 270 Atmosphären verlangt, bedarf das Pulvergeschütz einen mittleren Druck von 308 Atmosphären, und leistet

$$\frac{68}{340} = \frac{1}{5} \text{ von der Arbeit des Dampfgeschützes.}$$

Außerdem ist auch die bewegende Kraft des Dampfes um vieles ökonomischer, als die des Pulvers. 1 Klgr. Geschützpulver kostet dem Gouvernement in Frankreich 2 Frcs., also jeder Schuß aus dem 24Pfünder 8 Frcs. Die unvortheilhaftest construirte Dampfmaschine bedarf nicht mehr als 5 — 6 Kilogrammen

*) Siehe u. A. Poncelet, mécan. industr. Vol. I. §§. 167, 177.

Steinkohle per Stunde und Pferd. Da wir nun vorhin gefunden haben, daß ein Dampfpferd 34 Minuten oder circa $^1/_2$ Stunde arbeiten müßte, um der Kugel von 12^k die Geschwindigkeit von 500^m zu ertheilen, kosten also 3 Kilogr. Steinkohle circa 9 Centimen, d. h. 90 Mal weniger, als das Pulver, wenn man mit Poncelet annimmt, daß 100 Kilogr. Steinkohle 3 Frcs. kosten.

Wir lassen nun noch eine vergleichende Rechnung folgen, welche Poncelet anstellte, bei Gelegenheit seines Vorschlages, Luft durch eine Dampfmaschine zu comprimiren und diese comprimirte Luft als Motor zu benutzen — eine Anwendung des Dampfes, welche, wie schon erwähnt, auch Prechtl *) und Andere, fast gleichzeitig vorschlugen und fälschlich mit dem Namen Dampfgeschütz belegten.

Poncelet setzt voraus, daß der Rauminhalt des Cylinders, der als Reservoir für die comprimirte Luft dienen solle, 1,6 Cubikmeter oder 1600 Liter sei. Dieses Volumen ist ungefähr das 29fache des Inhaltes der Seele eines 24Pfünders, welcher $3^m,1 \,.\, 0,0176$ Quadratmeter $= 0,0546$ Cubikm. $= 55$ Liter beträgt. Läßt man nun das Reservoir geöffnet und die comprimirte Luft so lange auf die Kugel wirken, bis dieselbe die Seele verlassen hat, so nimmt in diesem Moment die Luft

$$1 + \frac{1}{29} = \frac{30}{29}$$ ihres ursprünglichen Volumens ein,

während umgekehrt der Druck nach dem Mariotti'schen Gesetz sich auf $\frac{29}{30}$ des ursprünglichen Druckes reducirt.

Diesen Druck nimmt Poncelet für den 24Pfünder zu 315 Atmosphären an. Derselbe wird also, wie die Kugel den Lauf verläßt, auf $315 \,.\, \frac{29}{30} = 304,5$ Atmosphären reducirt sein, so daß der arithmetisch mittlere Druck

$$\frac{315 + 304,5}{2} = 309,75$$ Atmosphären betrüge, welcher

nach dem Früheren hinreichend wäre, um der Kugel die geforderte Geschwindigkeit von 500^m zu ertheilen. Demungeachtet muß der Druck noch höher sein, in Betracht der Reibung der Kugel an der Seele und des Verlustes an comprimirter Luft durch den Spielraum u. s. f. — wenn man nicht vorzieht, durch die Dampfmaschine, welche ohnehin die Luft comprimiren muß, sogleich im Moment des Schusses die verlorene Luft dadurch ersetzen zu lassen, daß man die Maschine continuirlich arbeiten läßt, wozu man sogar gezwungen ist, wenn die Pression der Luft nicht rapid abnehmen und also derselbe Uebelstand eintreten soll, der bei den gewöhnlichen Windbüchsen ihrer Anwendung von jeher hinderlich war. Um die Arbeit der Dampfmaschine während des Schießens zu vermeiden, schlägt Poncelet endlich noch vor („mais non sans augmenter beaucoup les difficultés et les dangers d'explosion", wie er sehr naiv sagt), sich damit zu begnügen, eine

*) Prechtl (Technolog. Encyklopädie Bd. III. S. 522) erwähnt aber zugleich, daß in der Schwierigkeit der Liederung der Luftpumpe ein Haupthinderniß der praktischen Ausführung liegt.

Anzahl kleiner Bronzereservoire von gleicher Capacität anzuwenden, welche die Stelle der Stückpatronen mit Pulverladung einnehmen sollen. Diese Bronzepatronen sollen ein Volumen von 6 Litern fassen, also in 24 Pfündern einen Raum von $^1/_9$ der ganzen Seele einnehmen. Die Luft muß darin auf 1121 Atmosphären comprimirt werden und würde 8,742 Kilogr., also das Doppelte der Pulverladung wiegen. — Wie diese bronzenen Luftpatronen in das Bodenstück (Stoß) oder in die Seele eingebracht werden sollen, ohne beim Schuß den Rückstoß und die Kraftverluste zu vermehren, läßt Poncelet dahingestellt — und begnügt sich mit der Hypothese.

Was durch Alles dies gewonnen werden soll, sehen wir in der That nicht ein. Das Dampfgeschütz steht dem Pulvergeschütz praktisch offenbar viel näher, als das Luftgeschütz — denn letzteres hat, bei dem einzigen Vorzug, daß das Luftreservoir verhältnißmäßig klein ist, eine Menge von Nachtheilen, worunter wir nur hervorheben wollen, daß wir geradezu dabei eine Maschine mehr haben, mithin die Verluste sich direct verdoppeln; daß entweder der Luftdruck nicht constant bleiben kann, oder man die Dampfmaschine fortarbeiten lassen muß, um den Luftdruck constant zu erhalten, so daß also nicht einmal von Raumersparniß die Rede ist.

Wenn man endlich einen hohen Dampfdruck für gefährlich halten will, so ist es ein hoher Luftdruck nicht minder, ja er ist es noch mehr — weil man bei Luftcompression weder die Sicherheitsmittel noch die Vorsicht anwendet, welche bei Anwendung des Dampfes sich durch Tradition erhalten haben. Man kann behaupten, daß z. B. durch den Thilorier'schen *) Apparat mehr directe und indirecte Explosionen hervorgerufen worden sind, als durch Dampfkessel mit hohem Druck, wenn man in Rechnung bringt, wie viele Dampfkessel und wie wenige solcher Compressionspumpen jährlich im Gebrauch sind.

Es ist hier nicht der Ort, auf die Berechnung der Arbeit einzugehen, welche die Gase durch ihre Expansion entwickeln. Wir verweisen dabei unter Andern auf Poncelet's eigne Berechnungen **). Welche Arbeit aber von einer Dampfmaschine verlangt werde, um die Luft so weit zu comprimiren, daß sie dieselben Dienste leiste, als die 4 Klgr. Pulverladung eines 24Pfünders, läßt sich ungefähr übersehen, wenn man bedenkt, daß die Pulverladung, bei 2 Schuß per Minute, eine Arbeit von circa 70 Pferden entwickelte.

Diese Arbeit müßte also auch die comprimirte Luft leisten. Um sie dazu fähig zu machen, bedarf es jedenfalls $^1/_4$ Arbeit mehr, in Betracht der Kraftverluste, Widerstände ꝛc., also 87 Pferde. Dies müßte die Effectivarbeit einer Dampfmaschine sein, welche selbst nur 75 Proc. Nutzeffect giebt, so daß also der theoretische Effect der Dampfmaschine circa 110 Pferdekräfte sein müßte, d. h. die Hälfte der Arbeit, welche das directe Dampfgeschütz verlangt, ein Vorzug, der in der That keiner ist, da ein Kessel von 110 Pferden ebenso unbequem ist, als einer von 225 Pferden, und überdies man bei dem Luftgeschütz noch die unangenehme Zugabe einer arbeitenden und stoßenden Dampfmaschine von 87 Pferdekraft erhielt.

---

*) Bulletin de la Société d'encouragement, 1830. Tome XXIX. p. 345. Mémoire de Thilorier.

**) Du travail produit par la détente des gaz. — Poncelet, Méc. industr. Vol. I. §. 181—186. Ferner: Andraud et Tessier du Motay, de l'air comprimé et dilaté comme moteur. Paris 1840.

Die Abbildung eines ähnlichen Geschosses, das eine Maschine von 55 Pferden verlangte, ist schon oben (S. 216) gegeben. Indem wir zum Schluß noch einen Rückblick auf die Leistungen und die Brauchbarkeit des Dampfgeschützes thun, müssen wir nochmals hervorheben, daß überhaupt nur von Dampfflinten, mit den angegebenen Dimensionen, die Rede sein kann und daß der Hauptvorzug derselben in schnellem und sicherem Schießen besteht, weil die Ladung beliebig schnell erfolgen kann, ohne dem Richten und Zielen den geringsten Eintrag zu thun. Diese Dampfflinten könnten, sobald man 4 oder mehrere auf einem Gestell verbindet, an die Stelle der groben Geschütze mit Kartätschenladung treten. Obgleich sie transportabel zu machen sind, so müßte man doch im Felde von ihrem Gebrauch absehen. Sie würden aber in Festungen, auf Dampfschiffen, selbst auf Locomotiven und bei Lagerverschanzungen und Strandbatterien sehr gute Dienste leisten, sobald man sie als stationäre, grobe Geschütze und nicht als Flinten, betrachtet und behandelt, — eine Forderung, welcher ihre Leistung auch vollkommen entspricht. Generalmajor von Hoyer, den wir hier wohl als Autorität anführen können, sagte *) über das Dampfgeschütz schon 1827: „Es ist kein Zweifel, daß sich diese Erfindung bei dem Festungs- und Seekriege auf eine nützliche Weise anwenden läßt. Sie kann wenigstens bisweilen dem Pulvermangel zu Hülfe kommen, wenn in der späteren Epoche des Angriffes der Feind bis auf die Contrescarpe gelangt ist und wenn Defensiv-Kasematten unter den Bollwerksflanken oder der Curtine vorhanden sind, in der man das Dampfgeschütz bombensicher aufstellen kann. Da jedoch die Erzeugung der Dämpfe nur in einem gewissen Zeitraume stattfindet, bis zu dessen Ablauf das Dampfgeschütz wirkungslos bleibt, ist dasselbe in keinem Falle anwendbar, wo ein augenblicklicher und unerwarteter Gebrauch nothwendig wird, z. B. in der Flanke, bei einem Ueberfalle; überhaupt auf allen den Punkten, deren kräftige Vertheidigung schnell und ohne weitere Vorbereitungen bedingt wird.

Ein wesentlicher Vortheil der Dampfgeschütze für den Gebrauch in Kasematten ist jedoch hier nicht zu übersehen:

1) Daß sie eine weit geringere Erschütterung verursachen, als die Pulvergeschütze, wo jene der Festigkeit der Gewölbe nachtheilig werden kann; und

2) daß durch ihr Abschießen kein, die Bedienung und das Richten erschwerender Rauch erzeugt wird.“

Zur See treten diese Vortheile noch deutlicher hervor, um so mehr, als man auf Kriegsdampfschiffen keiner besondern Feuerungsanlage bedarf, sondern die Kesselfeuerungen mit einander verbinden kann.

Man hat in neuerer Zeit **), gestützt auf Arago's und Dulong's Versuche ***), als Argument gegen das Dampfgeschütz angeführt, daß dasselbe schon deshalb unmöglich sei, weil die Liederungen der Apparate gegen einen Dampfdruck über 24 Atmosphären nicht mehr dicht halten könnten.

Wir bemerken dagegen zunächst, daß seit der Anwendung des vulkanisirten Koutschuc und durch die Verbesserungen, welche man an den Dichtungen eingeführt

*) v. Hoyer, System der Brandraketen, mit einem Anhang über Perkins' Dampfgeschütz. S. 181.

**) Muncke in Gehler's Phys. Wörterb. Bd. X. S. 1136.

***) Siehe in unserem Lexicon. Bd. II. S. 96.

hat, dieser Einwurf keine praktische Geltung mehr hat; daß ferner in unserem verbesserten Dampfgeschütz überhaupt nur 2 Dichtungen vorkommen, welche man hinlänglich schützen kann; und daß endlich Thilorier's Apparat genügend beweist, bis zu welchem Druck man die Gase, trotz der Dichtungen, treiben kann.

Daß für die angemessene Stärke aller Apparate gesorgt werden muß, und daß man beim Dampfgeschütz, wie überall, die nöthige Vorsicht anzuwenden hat, versteht sich übrigens von selbst. Richard Pohl.

Dampfheizung, siehe Heizung.

Dampfkessel, siehe Dampfmaschine.

Dampfkugel (Windkugel, Aeolipile), ein einfacher kleiner Dampfkessel mit Blaserohr, der theils zur Erzeugung einer Gebläse- oder Stich-Flamme benutzt wird, theils dazu dient, als physikalischer Apparat die Wirkung der Wärme auf Flüssigkeiten und die Eigenschaften der dadurch erzeugten Dämpfe zu zeigen.

In ihrer einfachsten Form, als Hohlkugel mit engem Rohr, aus welchem, nach Erhitzung der Kugel über Kohlenfeuer, der Dampf herausbläst, hat man die Dampfkugel schon bei den Alten gekannt. Man kann ihren Ursprung bis auf Hero von Alexandrien *) verfolgen. Nach der Construction des Heronsballs lag der Gedanke sehr nahe, ähnliche Versuche mit erhitztem Wasser und mit Dämpfen zu machen. Man hat, darauf gestützt, Hero zum Erfinder der Dampfmaschine machen wollen — eine ebenso kühne als unmotivirte Behauptung. Man könnte ihn höchstens als Erfinder des Dampfkessels nennen, doch hat auch dieses Factum nur historisches, nicht praktisches Interesse **).

Die Alten verglichen das Blasen des Dampfes aus dem Rohr der Dampfkugel mit den Luftströmungen und benutzten den Apparat zur Erklärung des Ursprungs der Winde, welche sie für fließendes Wasser der Luft hielten ***). Auch Cartesius ****) schloß sich noch dieser Erklärung an — daher der Name Aeolipile oder Windkugel (von Aeolus, dem Gott der Winde, und pila, Ball, Kugel).

Wolf *****) hat sich ausführlich mit der Dampfkugel beschäftigt, beschreibt die Construction derselben und die Versuche, die man damit anstellen kann. Doch ist diese Dampfkugel weder für die Versuche zweckmäßig, noch gegen die Gefahr des Zerspringens gesichert, welche daraus entstehen könnte, daß das feine Dampfrohr verstopft wird.

Muncke †) beschreibt eine Dampfkugel, welche für alle Zwecke ausreicht. Der Kessel A (siehe umstehende Figur) besteht aus geschlagenem Kupfer und hat 2—3 Zoll Durchmesser. Er ist mit einem kleinen Sicherheitsventil b versehen, das nach Muncke aus einer flachen Scheibe besteht (besser aus einem

---

*) Der größte Theil der zahlreichen Werke, welche Hero verfaßte, ist verloren gegangen, und es sind nur 3 davon übrig geblieben. Die Aeolipile ist abgebildet und beschrieben in dem Tractate: „Spiritalia seu pneumatica".

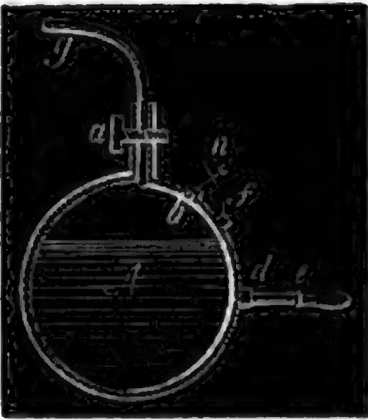
**) Siehe den Artikel: Dampfmaschine, Geschichte derselben.

***) „Ventus est aëris fluens unda — ex aeolipilis licet aspicere". Vitruvius, de Archit. Lib. I. cap. VI. p. 21 ed. Rode. Berol. 1800. 4.

****) Meteor. Cap. IV. §. 3.

*****) Wolf, nützliche Versuche. Halle 1737. 3 Th. 8. Bd. I. S. 460. — Siehe auch: Vollständiges mathem. Lexicon rc. Leipzig 1734. S. 34.

†) Gehler's Physikal. Wörterbuch. Bd. 2. S. 413.



abgestumpften Kegel), welche durch die Feder f vermittelst der Schraube k auf die kleine Sicherheitsöffnung des Kessels niedergedrückt wird. An die Kugel ist ein, mit einem Hahn a versehenes Rohr aufgelöthet, auf welches das krumme Dampfröhrchen g, oder verschieden geformte Röhrchen luftdicht aufgeschraubt werden können. Zum bequemeren Gebrauch giebt man dem Instrumente noch den metallenen Stiel d mit der hölzernen Handhabe e. Der Hahn a dient dazu, den Dampf in der Kugel abzusperren, bis er eine gewisse Spannung erlangt hat. Man erhitzt die Kugel über einer Spirituslampe, wozu noch ein zweckmäßiges Gestell für die Auflage erforderlich ist.

Es ist klar, daß man mit diesem Instrumente die Eigenschaften des Dampfes beobachten und demonstriren kann, weshalb es für Vorträge über Experimentalphysik oder Technologie sich seiner Einfachheit wegen empfiehlt.

Wolf *), Muncke **) und August ***) geben diese Versuche mit ziemlicher Weitläufigkeit an. Auf jene Abhandlungen verweisend, seien diese Versuche hier nur angedeutet.

Schon die Art der Füllung der Dampfkugel giebt Gelegenheit zur Darlegung mehrerer physikalischer Gesetze. Man erhitzt die Kugel A, während der Hahn a geöffnet ist. Dadurch wird die Luft im Innern erwärmt und durch das Röhrchen g zum Theil ausgetrieben. Hält man dabei die Spitze des Röhrchens unter Wasser, so sieht man die verdrängte Luft in Blasen entweichen. Auf diese Weise dient das Instrument dazu, die Ausdehnung der Luft durch die Wärme zu zeigen.

Schließt man nun den Hahn a und entfernt die Spiritusflamme, welche den Kessel erwärmte, so kühlt sich die eingeschlossene Luft ab, ihr Druck wird vermindert und es entsteht ein luftverdünnter Raum. Bringt man jetzt die Spitze des Röhrchens abermals unter Wasser und öffnet den Hahn, so steigen einige Tropfen Wasser in die Kugel, von dem Druck, den die atmosphärische Luft auf das Wasser übt, hineingetrieben. Dies dauert so lange fort, bis der Druck der in der Kugel eingeschlossenen Luft, welche dadurch comprimirt wird, dem äußeren Luftdruck gleich ist. Die Wirkung des Atmosphärendruckes ist dadurch anschaulich gemacht.

Nun erhitzt man das Instrument auf's Neue. Das wenige eingeschlossene Wasser verdampft und treibt dabei die atmosphärische Luft nach und nach vollständig aus der Kugel aus. Man kann auf diese Weise die Kugel nahezu luftleer erhalten, wenn man sodann den Hahn schließt und die Flamme entfernt, wodurch der im Innern befindliche Dampf sich condensirt. Bringt man nun das Röhrchen in eine beliebige Flüssigkeit und öffnet a, so strömt dieselbe mit Heftigkeit in die

---

*) Nützliche Versuche, a. a. O.

**) Gehler's Physikal. Wörterbuch, a. a. O.

***) Handwörterbuch der Chemie und Physik, von August, Burentin &c. Bd. I. S. 47. Aeolipile.

Kugel ein und wird sie vollkommen anfüllen, wenn man dies nicht durch Schließen des Hahnes verhindert.

Wird nun auf's Neue erhitzt, so tritt ein lebhaftes Sieden des Wassers und ein stetiges Ausströmen der Dämpfe aus der Spitze des Röhrchens ein.

Aus dem Ausströmen des Dampfes erkennt man seine Elasticität (durch das Geräusch, die Geschwindigkeit und die Länge des Dampfstrahles) und die Zunahme derselben mit der Temperatur, sobald man in die Kugel noch ein Barometer und Thermometer einbringt *). Ebenso dient das Instrument dazu, die Condensation des Dampfes zu zeigen und seine Anwendung zum Heizen und Kochen **). Man kann damit die latente Wärme ***) des Dampfes sogar annähernd messen. Minder unmittelbar ist die Aeolipile auch geeignet, die Quantität des Dampfes zu bestimmen, welche eine dem Feuer ausgesetzte Fläche von gegebener Größe in einer gewissen Zeit zu erzeugen vermag ****). Auch zum Messen der Quantität des Dampfes von gegebener Dichtigkeit, welcher aus einer Oeffnung von bestimmter Größe in einer gegebenen Zeit ausströmt, kann die Aeolipile angewendet werden, sobald man ein Thermometer anbringt.

Außer zu diesen physikalischen Versuchen, dient die Aeolipile auch zu verschiedenen physikalischen Spielereien. Wird ein Heronsball erwärmt, so muß das Wasser darin, auch ohne eine andere Vermehrung des Luftdrucks, durch den bloßen Dampfdruck zu springen anfangen. Dasselbe erreicht man auch mit der Aeolipile (die sich vom Heronsball nur dadurch unterscheidet, daß bei ihr das Dampfrohr nicht bis auf den Boden des Kessels reicht, sondern in den Kessel mündet), wenn man dieselbe in einer Lage erhitzt, bei welcher das Wasser in der Kugel die Mündung des Rohres g bedeckt und durch den Druck der Dämpfe herausgetrieben wird. Dies ist die sogenannte Dampfmaschine von Salomon de Caus *****). —
Der aus der Aeolipile ausströmende Dampf entwickelt aber auch eine Wirkungsgröße, welche man benutzen kann, um Bewegungen hervorzubringen, indem man dicht an die Mündung des Blaserohres ein kleines Schaufelrad bringt, auf dessen Schaufeln der Dampf durch Stoß wirkt. Man stellt auf diese Weise die sogenannte Dampfmaschine Branca's †) dar.

Die bewegende Kraft des Dampfes durch Reaction gegen die Luft zeigt man, wenn die Dampfkugel zwischen 2 Spitzen drehbar vorgerichtet wird und mehrere gekrümmte Ausströmungsröhren erhält, die in einer auf der Drehungsaxe senkrechten Ebene angebracht sind und deren Oeffnungen alle nach einer Seite hin liegen. Es erfolgt dann eine Drehung der ganzen Kugel in einer der Ausströmung entgegengesetzten Richtung ††). Dies ist der Versuch, den schon Hero von Alexandrien †††) beschreibt und ihn zu der Ehre brachte, als Erfinder der Dampfmaschine genannt zu werden.

---

*) Siehe August, Handw. d. Chem. u. Phys. Bd. I. S. 49.
**) Siehe S. 200 des Lexicons.
***) Siehe S. 51 des Lexicons u. ff., ebenso Gehler's Phys. Wörterb. Bd. II. S. 287.
****) Gehler's Phys. Wörterb. Bd. II. S. 415.
*****) Siehe d. Art. Dampfmaschine, Geschichte derselben.
†) Siehe Dampfmaschine. Cap. I.
††) Aehnlich ist Pristley's Dampfkugel (in dessen Geschichte d. Elektr. S. 279.)
†††) A. a. O. — Siehe auch Dampfmaschine, Reactionsmaschinen.

Was sich in den beschriebenen Versuchen mit Wasserdämpfen zeigt, läßt sich mit der Aeolipile natürlich auch an andern Dämpfen, z. B. Weingeistdämpfen beobachten. Diese Versuche erfordern aber mehr Vorsicht wegen der größern Expansivkraft und der Entzündlichkeit des Weingeistdampfes. Wolf *) entzündete den ausströmenden Weingeistdampf, indem er ihn durch eine Lichtflamme trieb und bildete dadurch eine Feuerfontaine **). Der Weingeistdampf brennt jedoch nur so lange, als er die Lichtflamme durchströmt.

Eine praktische Anwendung findet auf diese Art die Aeolipile, indem man den brennenden Dampfstrom, statt eines Luftstromes, zur Erhaltung eines Lampengebläses benutzt. Der Weingeistdampf bildet dabei, während er durch eine Oelflamme geführt wird, eine Stichflamme, welche zum Schmelzen und Biegen von Glasröhren ꝛc. zu verwenden ist. Man vereinfacht diese Vorrichtung, wenn man das Dampfröhrchen g soweit um den Kessel herumbiegt, daß es in dieselbe Weingeistflamme einmündet, welche unmittelbar zur Erhitzung des Kessels A dient. Auf diese Art versieht eine Weingeistflamme beide Zwecke. Muncke ***) giebt eine ausführliche Beschreibung und mehrere Abbildungen einer solchen Gebläselampe. Wolf ****) schlägt noch vor, die Aeolipile mit wohlriechendem Wasser zu füllen und auf Kohlen zu legen, um die Zimmer zu parfümiren — eine Anwendung, die in neuester Zeit wieder aufgegriffen wurde, wobei man jedoch der Aeolipile die Form von Hero's Reactionskugel giebt.

Endlich sei noch ein Vorschlag von Muncke *****) erwähnt, mittelst der Aeolipile den Wasserdampf als Gebläse zu benutzen. Bringt man nämlich in den Strom des Wasserdampfes die Flamme einer Kerze ꝛc., so wird der Dampf dieselbe nur dann auslöschen, wenn er den Docht selbst trifft. Außerdem wird die Kerze fortbrennen, indem der Dampf hier als expansible Flüssigkeit wirkt, wobei jedoch das Nichtverlöschen als eine Folge des, zugleich mechanisch mit fortgerissenen Luftstromes anzusehen ist. Der Wasserdampf selbst kann das Brennen nur dann erhalten, wenn die Hitze des Körpers, auf den er strömt, stark genug ist, um ihn zu zersetzen. Der dadurch entwickelte Wasserstoff verbrennt dann auf Kosten des Sauerstoffes wiederum zu Wasser, ein Prozeß, den man bei jedem Schmiedefeuer beobachten kann. Auf diese Weise kann die Aeolipile als Gebläse für Schmelzöfen angewandt werden. Hutton †) bestreitet zwar diese Anwendung, doch sagt Muncke ausdrücklich, daß ein solches Gebläse wirklich ausgeführt worden sei. Daß diese Vorrichtung niemals angewendet werden wird, weil kein Vortheil gegen Luftgebläse dadurch erreicht werden könnte, wohl aber pecuniärer Nachtheil daraus entsteht, leuchtet von selbst ein. Eine wirklich praktische Anwendung konnte also die Aeolipile nur als Gebläselampe finden, obgleich sie auch als solche nur noch selten angetroffen wird und durch bessere Vorrichtungen ersetzt und verdrängt wurde.

Richard Pohl.

---

*) A. a. O.

**) Gehler's Physik. Wörterb. Art. Springbrunnen. Bd. VIII. S. 976.

***) Gehler's Physik. Wörterb. Art. Gasgebläse. Bd. IV. S. 1184.

****) A. a. O.

*****) Gehler's Physik. Wörterb. Bd. II. S. 414.

†) Dictionary, Art. Aeolipile.

Dampfmaschine (machine à vapeur, steam engine) —, früher richtiger Feuermaschine genannt — heißt im Allgemeinen jede mechanische Vorrichtung, welche fähig ist, die Wirkungsgröße, die der Dampf entwickelt, aufzunehmen und in mechanische Arbeit zu verwandeln, mithin die physikalischen Eigenschaften des Dampfes praktisch nutzbar zu machen. Oder mit andern Worten: Dampfmaschine ist jede Maschine, welche als Receptor für die motorische Kraft des Dampfes dient.

Dieser allgemeine Begriff erleidet jedoch mehrfache Beschränkungen. Obgleich jeder Dampf als Motor dienen könnte, benutzt man dazu fast ausschließlich den Wasserdampf — und wir werden uns hier nur mit diesem beschäftigen. Ferner wird nicht jeder Receptor der motorischen Kraft des Wasserdampfes als Dampfmaschine bezeichnet — (denn in diesem Sinne wäre z. B. auch das Dampfgeschütz eine Dampfmaschine) — sondern nur diejenigen Receptoren werden so genannt, welche durch den Wasserdampf in eine regelmäßige, continuirliche oder periodisch wiederkehrende Thätigkeit versetzt werden, um dadurch mechanische Veränderungen hervorzubringen.

Diese Thätigkeit wird in den selteneren Fällen unmittelbar, in den meisten Fällen nur mittelbar zur Hervorbringung der mechanischen Veränderungen benutzt. Die unmittelbare Benutzung des Receptors geschieht nur zum Zweck der Ortsveränderung — vorzüglich bei dem Heben von Lasten, bei Gebläsen, Pumpmaschinen, Dampfschiffen und Locomotiven. Die mittelbare Benutzung des Receptors der Dampfkraft geschieht in allen den Fällen, wo die mechanische Veränderung in einer Formveränderung besteht. Die Dampfmaschine bewirkt sodann nur die erforderliche Bewegung (meistens durch Drehung) der Werkzeugs- oder Arbeitsmaschinen. Diese Bewegung wird von der Dampfmaschine durch Zwischenmaschinen, gangbare Zeuge oder Triebwerke auf die Arbeitsmaschine übertragen und bewirkt folglich nur indirect die Formveränderungen aller Art (Walzen, Schmieden, Drucken, Spinnen, Weben, Mahlen, Sägen, Pochen, Pressen ꝛc.), deren Betrachtung die Aufgabe der mechanischen Technologie ist. Eine Dampfmaschine für sich allein wird also in den seltensten Fällen als Zweck gebraucht werden, sie ist fast immer nur Mittel, und zwar das vorzüglichste bewegende Mittel der Gegenwart (wie theilweise noch der Pferdegöpel, das Wasser- und Windrad), um alle die unzähligen Maschinen in Thätigkeit zu setzen, welche dem Bedürfniß und dem Luxus dienen *).

*) Hier sei eines besonderen Sprachgebrauchs erwähnt, welcher zu Mißverständnissen führen kann. Man rühmt zuweilen an einem Etablissement als etwas Besonderes, daß es durch Dampf getrieben werde; ja man spricht dabei sogar sehr mystisch von Dampfmühle, Dampfdruckerei, Dampfchocolade ꝛc. Der Dampf hat aber weder mit dem Mehl, noch mit der Chocolade etwas zu schaffen. Er bewegt ganz einfach die zur Fabrikation nöthigen Arbeitsmaschinen — ein Geschäft, das Wasserräder, selbst Pferde ꝛc. ebenso gut verrichten könnten. Auch die sonderbare Idee, daß Alles, was mit Dampf getrieben wird, schneller, wenn nicht gar besser geschehen müsse, ist ein Vorurtheil, dessen Ursprung wahrscheinlich darin zu suchen ist, daß Locomotiven oder Dampfschiffe schneller laufen, als gewöhnliche Fuhrwerke.
Anm. d. Verf.

Auf die Art der Construction der Dampfmaschine hat der Zweck, dem sie dient, verhältnißmäßig sehr geringen Einfluß. Die Dampfmaschinen für Ortsveränderung machen allein davon eine Ausnahme, weshalb wir sie auch besonders betrachten müssen. Die übrigen Dampfmaschinen aber sind in ihrer Construction meist ganz unabhängig von dem später davon zu machenden Gebrauch. Da wir hier nur die Dampfmaschine an sich zu betrachten haben, so lassen wir alle speziellen Anwendungen und dadurch hervorgebrachten Modificationen bei Seite.

Die Geschichte der Dampfmaschine, welche gewöhnlich an die Spitze derartiger Abhandlungen gestellt wird, führt uns nach einander eine Menge von Maschinen der verschiedensten Art vor, ohne daß daraus ein Nutzen für die erste Orientirung und das Verständniß der jetzt gebräuchlichen Dampfmaschinen entstehen kann. Deshalb soll zunächst nur das Wesentlichste zur Charakteristik der Dampfmaschine mitgetheilt, die Geschichte selbst aber in das Schlußcapitel verwiesen werden.

I.

Allgemeine Charakteristik der Dampfmaschinen.

§. 1.

Die physikalischen Eigenschaften des Dampfes, welche durch die Dampfmaschine praktisch nutzbar gemacht werden sollen, sind in dem betreffenden Artikel schon entwickelt worden *). Man sieht beim ersten Ueberblick, daß diese physikalischen Eigenschaften auf sehr verschiedene Weise benutzt werden können, um die, in den Molecularactionen begründete motorische Kraft durch den Receptor zu gewinnen. Der Dampf kann nämlich hauptsächlich wirken:

1) durch Druck,
2) durch Stoß,
3) durch Reaction,
4) durch Sieden,
5) durch Explosion,
6) durch Condensation,
7) durch Expansion.

Die drei ersten Wirkungsarten sind allgemeiner mechanischer Natur, die vier letzten beruhen auf den besonderen Eigenschaften der Dämpfe. Die Wirkung durch Druck, Stoß und Reaction, welche der schon gebildete, aus dem Kessel strömende Dampfstrahl ausübt, finden wir bei der Benutzung von Wasser und Luft als Motoren wieder. Die Explosions- und Stoßwirkung theilt der Dampf mit dem Pulvergas 2c. Mit Beziehung auf frühere Betrachtungen **), sei hier nochmals erwähnt, daß die Explosions- und Stoßwirkung, die man bei dem Pulver als seiner Natur eigenthümlich beibehalten muß — bei dem Dampf zu vermeiden ist, wenn man einen vortheilhaften Nutzeffect erzielen will.

---

*) Siehe d. Art. Dampf, bearbeitet von O. Marbach. Bd. II. S. 20 u. ff. des Lexicons.

**) Siehe d. Art. Dampfgeschütz, bearbeitet vom Verfasser.

Die Explosion ist hier im Sinne einer momentanen und heftigen Dampfentwickelung zu verstehen, wobei der Dampf sich plötzlich ausdehnt und auf den Receptor durch Stoß wirkt. Die Wirkungen durch Explosion zeigen sich leider im größten Maßstabe noch oft genug, als die unwillkommenste Zugabe, bei den Dampfkesselexplosionen *). In neuester Zeit tauchen die Explosionsmaschinen wieder auf, welche von Papin zuerst angeregt wurden.

Unter Stoß ist hier die Wirkung zu verstehen, welche der aus einem Rohr heftig ausströmende Dampf auf die Schaufeln eines Rades ausüben würde. Branca's Dampfrad **) war die erste Maschine dieser Art. Diese Wirkungsart ist der des isolirten Wasserstrahles analog, wenn er auf eine ausweichende Fläche trifft, obgleich das Wasser, wenn es mit Nutzen arbeiten soll, dabei so wenig als möglich mit Stoß wirken darf. Abgesehen von dem Kraftverlust durch Stoß im Allgemeinen, wird durch den Stoß des Dampfstrahles besonders noch Wirkungsgröße verloren. Denn indem der Dampf aus einer Oeffnung in die Atmosphäre ausströmt, erfolgt durch die eintretende Condensirung die Verminderung seiner Spannkraft so schnell, daß schon in einer geringen Entfernung von der Oeffnung der an sich schon ungünstig wirkende Stoß des Dampfstrahles noch bedeutend geschwächt wird ***).

Auch die Wirkung durch Sieden oder richtiger Aufsteigen des Dampfes ist nur eine physikalische Merkwürdigkeit, ohne praktischen Nutzen. Sie beruht auf der bewegenden Kraft, die durch das Aufsteigen des Dampfes in einer Flüssigkeit, welche mit ihm gleiche Temperatur hat, erzeugt wird ****). Es ist dies dieselbe bewegende Kraft, durch welche die Dampfblasen, die sich an dem erhitzten Boden eines mit Wasser gefüllten Kessels entwickeln, in demselben aufwärts steigen. Cagniard-Latour, Prechtl und Congreve haben sich in neuerer Zeit mit diesem Problem beschäftigt, das man im Grundprincip auf Savary's Wasserhebmaschine zurückführen könnte.

Wir kommen auf sämmtliche 3 Anwendungsarten in der Geschichte der Dampfmaschine noch einmal zurück, da sie in der That nur noch historisches Interesse haben.

Eine ausführliche Betrachtung erfordert also nur die Wirkung des Dampfes durch Druck, Condensation, Expansion und Reaction, obgleich auch die letztere Wirkungsart nur sehr partiellen Werth hat.

Die Theorie der Dampfmaschine zerfällt überhaupt in zwei Theile:

1) In die Bestimmung der im Dampf gegebenen Wirkungsgröße und des daraus in der Dampfmaschine entwickelten Nutzeffectes.

2) In die Betrachtung der Construction der Maschine, welche zur Uebertragung der Arbeit des Dampfes auf andere Körper bestimmt ist.

---

*) Siehe d. Art. Explosion.

**) Siehe d. Art. Dampfkugel, so wie Geschichte der Dampfmaschine.

***) Prechtl's Technol. Encyklopädie. Bd. III. S. 687 und Gehler's Physikal. Wörterb. Bd. II. S. 418.

****) Prechtl's Technol. Encyklopädie. Bd. II. S. 61 und Bd. III. S. 680. Siehe auch: Jahrbücher des polyt. Instituts. Bd. I. S. 141.

Die Bestimmung des Nutzeffectes ist die Aufgabe der Physik. Die Betrachtung der Construction ist die Aufgabe der Technik. Doch läßt sich nur dann ein vollkommenes Verständniß der Dampfmaschine erzielen, wenn man beide Betrachtungsweisen mit einander verbindet, obgleich die Behandlung und Ausführung des Gegenstandes natürlich eine andere ist, je nachdem der physikalische oder technische Zweck der vorherrschende ist. Wir behandeln, dem Zwecke gemäß, hier den physikalischen Theil mit größerer Ausführlichkeit, während wir das Constructive nur andeuten können und deshalb auf technische Wörterbücher verweisen müssen *).

Die Physik fragt im Allgemeinen: Welche Wirkungsgröße ist uns gegeben. Schon eine oberflächliche Betrachtung giebt darauf die Antwort: die Wirkungsgröße, welche das Feuer aus Holz, Steinkohle, Coak ꝛc. entwickelt, indem es Wasser in Dampf verwandelt, bei einer Temperatur von 100° C. und unter dem Druck von 760 Millim. Quecksilber, im normalen Fall.

Der so entwickelte Dampf kann auf dreifache Art seine Wirkungsgröße abgeben. Der Nutzeffect besteht nämlich:

1) aus der Wurfbewegung des Dampfes,
2) aus der Expansion und
3) aus der Condensation desselben.

§. 2.

Wir betrachten zuerst die Wurfbewegung **). Die Dampftheilchen treten mit einer Geschwindigkeit aus dem Kessel, welche der Fallhöhe entspricht, die ein Körper haben würde, wenn er die reducirte Druckhöhe durchfallen wäre.

Die reducirte Druckhöhe finden wir auf folgende Weise.

Nehmen wir den Normaldruck von einer Atmosphäre, bei einer Siedetemperatur von 100° C. an, so entspricht zunächst diesem Druck eine Wassersäule von

$$0^{m},76 \,.\, 13,598 = 10^{m},33,$$

weil 13,598 das spec. Gewicht des Quecksilbers und $0^{m},76$ die Höhe der Quecksilbersäule für eine Atmosphäre ist, also die Wassersäule 13,598 Mal so hoch sein muß.

Nun wiegt ferner 1 Liter oder 1 Kubikdecimeter Wasser

1000 Grammen,

während 1 Kubikdecimeter Dampf bei 100° und 0,76 Barometer nach Gay Lussac

0,5895 Grammen wiegt ***).

Folglich ist der Dampf unter obigen Voraussetzungen

$$\frac{1000}{0,5895} = 1696,35 \text{ Mal}$$

leichter als Wasser, d. h. sein specifisches Gewicht ist $\frac{1}{1696}$ von dem des Wassers, oder sein relatives Volumen ist = 1696.

*) U. A.: Prechtl's Technolog. Encyklopädie und Karmarsch und Heeren Technisches Wörterbuch. (Prag 1844).

**) Nach Prof. W. Weber's Vorlesungen über Physik an der Universität zu Göttingen. Eine ähnliche Entwickelung giebt Coriolis, auf die wir später zurückkommen.

***) Siehe über diese Verhältnisse die Tabelle im 3. Capitel.

Die auf Dampf von einer Atmosphäre **reducirte Druckhöhe des Quecksilbers** ist also

$$10^{m},33 \,.\, 1696,35 = 17523,3 \text{ Meter} = 1,75 \text{ franz. Meile.}$$

Mit der, dieser Druckhöhe entsprechenden Fallgeschwindigkeit und auf dieselbe theoretische Höhe von $1^3/_4$ Meile würde also der Dampf aus dem Kessel getrieben werden, wenn er in den luftleeren Raum strömte und auch sonst keine Widerstände in der Reibung, Contraction, Abkühlung, durch Stoß ꝛc. fände.

Die, dieser theoretischen Hubhöhe entsprechende Geschwindigkeit v findet man nach den Gesetzen des freien Falles *) zu

$$v = \sqrt{2\,g\,.\,h}$$

wobei h die reducirte Druck- oder Fallhöhe ist.

Also:

$$v = \sqrt{19,62\,.\,17523,3}$$

oder:

$$v = 4,429 \sqrt{17523,3} = 586,3 \text{ Meter}$$

ist die Austrittsgeschwindigkeit des Dampfes, in unserem Fall.

Man kann dieselbe auch noch auf andere Weise finden. — Nach **Weißbach** **) ist die Ausflußgeschwindigkeit des Dampfes für Metermaaß

$$v = 500,6 \sqrt{(1 + 0,00367\,.\,t)\ \log.\ \text{nat.} \left(\frac{p_1}{p}\right)}$$

wobei v die Austrittsgeschwindigkeit des Dampfes, unter einem Druck p_1 und bei einer Temperatur t bedeutet, wenn derselbe in einen Raum tritt, wo der Druck p herrscht. Nun ist in unserm Beispiel die Temperatur $t = 100^0$, der Druck $p_1 = 1$ Atmosphäre oder 10330 Kilogrammen auf 1 Quadratmeter. Der Druck p soll = o sein, mithin fällt log. nat. $\left(\frac{p_1}{p}\right)$ weg, und wir haben annähernd

$$v = 500,6 \sqrt{(1 + 0,00367\,.\,100)}$$

oder:

$$v = 500,6 \sqrt{1,367} = 583,8 \text{ Meter}$$

was genau genug mit unserer obigen Rechnung übereinstimmt.

Ebenso findet man die Zeit T, nach welcher die Geschwindigkeit v = o wird, d. h. die ganze Druckhöhe erreicht ist, zu

$$T = \sqrt{\frac{2\,.\,h}{g}}$$

oder:

$$T = \sqrt{\frac{2\,.\,17523,3}{9,81}} = 59,77 \text{ Secunden} = \text{circa 1 Minute.}$$

*) Siehe den Artikel.

) **Weißbach's Mechanik. 2. Aufl. Bd. I. S. 583. Siehe auch: **Weißbach's** Ingenieur. S. 471.

In 1 Minute also würde der in den leeren Raum ausströmende Dampf die Höhe von $1^3/_4$ Meilen erreichen. Dabei übt der Dampf in der Querschnittseinheit (1 Quadratcentimeter) einen Atmosphärendruck von 1 Klgr. aus. Er kann also, da keine Widerstände vorhanden sein sollen, das Gewicht von 1 Klgr. per Querschnittseinheit auf die angegebene Höhe mit der berechneten Geschwindigkeit heben. Oder umgekehrt er würde auch

17523 Kilogrammen 1 Meter hoch

in der Zeit von 1 Minute heben können, oder

$175^1/_4$ Kilogrammen 100 Meter hoch und so fort.

Die theoretische Arbeit, die der Dampf dabei leistete, wäre also im Mittel, für 1 Secunde.

$$\frac{17523}{60} = 292 \text{ Kilogrammeter}$$

oder, da eine Pferdekraft per Secunde 75 Kilogrammeter beträgt:

$$\frac{292}{75} = 3{,}9 \text{ Pferdekraft.}$$

Der Dampf kann das aber nicht leisten, weil die oben angedeuteten Widerstände ihn daran hindern. Zunächst wird er niemals in einen luftleeren Raum strömen und stets einen Gegendruck zu überwinden haben, der im Normalfall 1 Atmosphäre beträgt. Um diesen Druck zu überwinden, muß also der Dampf 2 Atmosphären Spannung haben, damit er mit 1 Atmosphäre Ueberdruck entweichen kann. Bei 2 Atmosphären ist aber die Quecksilbersäule 1,52 Meter hoch, der Druck auf 1 Quadratmeter beträgt ebenfalls das Doppelte, nämlich 20660 Kilogrammen und die entsprechende Temperatur ist 121,4° C.

Wenden wir für diesen Fall die Formel von Redtenbacher *) an, so ist

$$v = \sqrt{\frac{2g}{\beta} \cdot \log.\,\text{nat.} \left(\frac{\alpha + \beta P}{\alpha + \beta p}\right)}$$

wobei

P den Druck des Dampfes im Kessel auf 1 Quadratmeter = 20660 Klgr.

p die Spannung, welche in dem Raume herrscht, nach welchem der Dampf entweicht = 1 Atmosphäre = 10330 Klgr.

$\left.\begin{matrix}\alpha + \beta P \\ \alpha + \beta p\end{matrix}\right\}$ Gewicht von 1 Kbkm. Dampf, dessen Spannung P und p ist

$\left.\begin{matrix}\alpha = 0{,}06295 \\ \beta = 0{,}000051\end{matrix}\right\}$ Coefficienten.

Also die Austrittsgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{\frac{19{,}62}{0{,}000051} \cdot \log.\,\text{nat.} \left(\frac{0{,}06295 + 0{,}000051 \cdot 20660}{0{,}06295 + 0{,}000051 \cdot 10330}\right)}$$

oder:

$$v = \sqrt{\frac{19{,}62}{0{,}000051} \cdot \log.\,\text{nat.}\ 2}$$

folglich

$$v = 365 \text{ Meter.}$$

*) Redtenbacher's Resultate §§. 223, 226.

Eine Austrittsgeschwindigkeit, die durch verschiedene Widerstände noch vermindert wird. Die Dampfmenge, welche dabei verbraucht wurde (vorausgesetzt, daß der Dampf ununterbrochen ausströme, bis die ganze Druckhöhe erreicht ist), findet man nach Redtenbacher zu

$$Q = K \cdot \Omega (\alpha + \beta p) v$$

Dabei ist

Q = Quantität des Dampfes in Klgr., welche per Secunde ausströmt.

K = Contractions-Coefficient, der hier bei unserer ersten theoretischen Betrachtung wegfällt.

Ω = Querschnitt der Ausströmungsöffnung in Quadratmetern = $0{,}0001^{qm}$ für 1 Klgr. und 1 Atmosphäre.

$p = 10330$ also $(\alpha + \beta p) = 0{,}5913$.

$v = 365^{m}$.

Folglich

$Q = 0{,}0001 \cdot 0{,}5913 \cdot 365 = 0{,}0215$ Klgr. per Secunde oder 1,3 Klgr. für 1 Minute der Ausströmung.

Dies entspricht, wie wir später sehen werden, einer Heizfläche von

$$\frac{1{,}3}{0{,}4} = 3{,}2 \text{ Quadratmeter,}$$

was schon vorläufig auf eine Arbeit von 2—3 Pferdekräften schließen läßt *).

Man ersieht aus dieser vorläufigen Berechnung, daß der Dampf eine bedeutende Arbeit entwickelt, welche aufzufangen und nutzbar zu machen eben die Aufgabe der Technik ist.

Auf wie verschiedene Art das geschehen kann, ist bereits in §. 1 gezeigt, doch zugleich bemerkt worden, daß nur 4 Wirkungsarten zur praktischen Ausführung gelangen. Auch unter diesen hat die Condensation und Expansion in unserem vorliegenden Fall noch keine Bedeutung. Der Wurfbewegung entspricht die Wirkung des Dampfes durch Druck (theilweise Stoß) und durch Reaction. Man läßt nämlich den Dampf entweder aus einem Reactionsrad (ähnlich der Reactions-Dampfkugel des Hero **), oder dem Segner'schen Wasserrad) ***) ausströmen, oder durch ein Rad, das den Wasserturbinen ****) analog ist, hindurch strömen. (Von Branca's Stoßrad ganz abgesehen.) Dadurch erhält man eine, unmittelbar durch den Dampf hervorgebrachte rotirende Bewegung. Doch sind die Bedingungen des dadurch erzielten Nutzeffectes bei Weitem nicht so günstig, als wenn man eine andere Bewegungsart wählt, welche gegenwärtig fast ausschließlich angewendet wird. Der Dampf bringt dabei nicht eine rotirende, sondern geradlinig auf- und niedergehende Bewegung hervor, welche man mit Hülfe einfacher Mechanismen in eine drehende Bewegung verwandeln kann, sobald man derselben bedarf.

*) Die Entwickelung und Ausführung der hier vorläufig mitgetheilten Formeln erfolgt erst weiter unten.

**) Siehe d. Art. Dampfkugel.

***) Siehe d. Art. Wasserrad.

****) Siehe d. Art. Turbine.

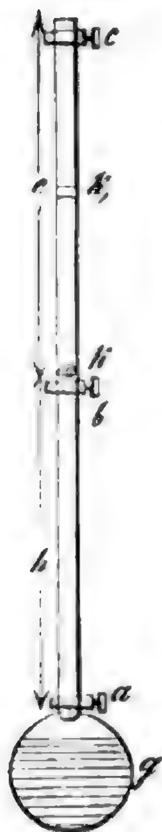
Man läßt bei dieser Art der Uebertragung der Wirkungsgröße den Dampf nicht frei ausströmen, sondern schließt ihn in ein cylindrisches Rohr, den Dampfcylinder ein. In diesem Rohr bewegt sich ein Stempel, der Dampfkolben, luftdicht auf und nieder. Der Dampf schiebt, indem er mit der Wurfgeschwindigkeit in den Cylinder eintritt, den leicht ausweichenden Kolben vor sich her. Auf welche Weise der Dampf, nachdem er somit seine ganze Wirkungsgröße abgegeben hat, beseitigt und der Kolben zurückbewegt wird, soll sogleich weiter ausgeführt werden.

Man ersieht aber aus dieser Andeutung, daß der Dampf, — wenn er mit 580 Meter Geschwindigkeit auf einen Kolben träfe, der in Ruhe befindlich, ihm vollkommen den Weg versperrte —, nicht allein durch Druck, sondern im ersten Zeitmoment auch durch Stoß wirken müßte; daß man ferner den Dampf wird beseitigen müssen, bevor er seine ganze Wirkungsgröße abgegeben hat, d. h. bevor seine Wurfgeschwindigkeit = 0 wird, weil sonst der Kolben in seiner Geschwindigkeit zu große Differenzen zeigen, und überdies einen Cylinder verlangen würde, welcher der ganzen theoretischen Wurfhöhe von über 1 Meile entsprechen müßte.

§. 3.

Wir wollen jedoch, abgesehen von diesen praktischen Unmöglichkeiten, die theoretische Annahme noch festhalten, daß der Dampf seine, in der Wurfbewegung begründete ganze Wirkungsgröße abgeben könne, und zu dem Zweck eine Röhre durchströme, welche der theoretischen Wurfhöhe von

17523 Meter oder $1^3/_4$ Meile entspricht.



In beistehender Figur sei g der Kessel, welcher den Dampf erzeugte, und h die Höhe der Röhre, bis zu welcher der Dampf aufgestiegen ist, wenn er die ganze Wirkungsgröße der Wurfbewegung abgegeben hat. Der Kolben k steht dann in einer Höhe von 17523 Meter. Gesetzt, der Dampfzufluß aus dem Kessel g werde nun durch den Hahn a abgesperrt und der Kolben k stehe auf der erreichten Höhe still. Wir wissen bereits, daß der Dampf noch eine Wirkungsgröße besitzt, welche in seiner Expansion liegt. Vermöge dieser Eigenschaft stoßen sich die Dampftheilchen unter einander ab und streben, sobald kein Druck sie hindert, sich auszudehnen. Wir nehmen an, um die Betrachtung zu vereinfachen, daß diese Thätigkeit der Expansion, welche immer stattfindet, erst eintrete, sobald der Dampf seine Wurfbewegung erschöpft hat, daß also die Expansion auf die Stoßwirkung folge und nicht gleichzeitig mit dieser eintrete.

Um dieser Expansion des Dampfes bis zu gewissen Grenzen hin Spielraum zu geben, sei die Röhre h noch um die Höhe e verlängert, und wir wollen annehmen, daß e = h, also e ebenfalls 17523 Meter lang sei. Nach dem Mariotti'schen Gesetze verbreiten sich sodann die Dämpfe mit gleichmäßigem, aber geringerem Druck in der ganzen Röhre *). Indem sie sich expandiren, schieben sie den Kolben von der Querschnittseinheit k, der zugleich das zu

*) Wie das Gesetz der Ausdehnung des Dampfes in einem größeren gegebenen Raume sei, ist noch nicht ausgemacht. Denn durch die Expansion wird zugleich Wärme gebunden und

hebende Gewicht von 1 Kilogr. repräsentirt, in e aufwärts vor sich her. Wenn die Dämpfe sich in der ganzen Röhre e verbreiten, so liegt der Schwerpunkt ihrer Masse in der Mitte der expandirenden Dämpfe, also in k_1. Bis dahin wird der Kolben k noch gehoben. — Nachdem die Wurfbewegung h vollendet ist, wird der Kolben also noch um $\frac{h}{2}$, d. h. 8760 Meter vermöge der Expansion gehoben. Es ist folglich durch diese, für sich allein betrachtet, noch ein bedeutender Nutzeffect gewonnen worden, der je nach den verschiedenen Grenzen, bis zu welchen man die Expansion gestatten kann, ein verschiedener ist.

§. 4.

Die Thätigkeit des Kolbens ist aber damit noch nicht beendigt. Auf seine aufsteigende Bewegung folgt nun die absteigende, welche allerdings nicht unmittelbar durch die Dampfwirkung erzeugt wird, aber mittelbar durch die Eigenschaft des Dampfes, sich zu condensiren. Dabei beginnt der Luftdruck seine Rolle zu spielen. Wir hatten zwar anfänglich angenommen, daß der Dampf in einen luftleeren Raum ströme, jedoch später bemerkt, daß im normalen Falle der Gegendruck von 1 Atmosphäre zu überwinden sei, folglich der Dampf ursprünglich eine Spannung von 2 Atmosphären haben müsse, um einen Ueberdruck von 1 Atmosphäre zu gewinnen, wodurch sich seine Ausströmungsgeschwindigkeit schon bedeutend verringerte. (S. 245 u. 246.) Wir können jedoch auch annehmen, daß die Röhren h und e (Figur S. 247) vollkommen luftleer seien und der Dampf also keinen Gegendruck erleide. Ist dies der Fall, so wird einerseits, sobald der Kolben die Höhe k_1 erreicht hat, das Rohr oberhalb k_1 vermittelst des Hahnes c geöffnet, so daß der Luftdruck wirken kann. Anderseits werde unterhalb k_1 durch den Hahn b kaltes Wasser in die Röhren eingespritzt. Der expandirte Dampf wird dadurch condensirt, d. h. er verändert seinen Aggregatzustand und wird tropfbar flüssig, indem er seine latente Wärme theilweise an das Condensationswasser abgiebt. Da das specifische Dampfvolumen bei 1 Atmosphärendruck 1696 Mal größer ist, als das entsprechende Wasservolumen, so vermindert bei der Condensation der Dampf sein Volumen also um das 1696fache. Es entsteht folglich ein fast dampf- und luftleerer Raum unterhalb k_1 in der ganzen Röhre, und der Kolben k_1 würde schon durch sein eigenes Gewicht langsam herabgleiten. Es wirkt aber noch auf ihn von oben her der Luftdruck der vollen Atmosphäre, und in Folge dessen bewegt sich der Kolben bis nahe auf den Kessel herab, von wo er zum zweiten Male durch neu zutretenden Dampf gehoben werden kann, um bei dessen Condensation abermals herabzusinken u. s. f.

---

dadurch die Elasticität des Dampfes vermindert. Geht indeß die Ausdehnung nicht zu schnell vor sich, nicht über gewisse Grenzen hinaus, und ist der expandirende Dampf vor Wärmeverlust geschützt, so wird zwar die Pressung dem Mariotti'schen Gesetz nicht absolut, aber doch nahe proportional sein Folglich wird der Dampf, z. B. bei halber Absperrung, im Anfang der Expansion den Druck von 1 Atmosphäre, am Ende derselben den Druck von $^1/_2$ Atmosphäre, also im Mittel einen Druck von 0,75 Atmosphäre haben, welcher zu dem, vor der Absperrung stattfindenden Druck von 1 Atmosphäre hinzuzufügen ist. (Siehe darüber: Dampf, latente Wärme desselben. Bd. II. S. 51 ff.)

Durch diese einfache Betrachtung haben wir schon eine vorläufige Einsicht gewonnen in die Hauptprincipien der Wirkung des Dampfes im Zustande des vollen Druckes, der Expansion und Condensation. Wir haben dadurch zugleich die hauptsächlichsten 2 Arten von Dampfmaschinen kennen lernen, nämlich die wirklichen Dampfmaschinen und die atmosphärischen Maschinen.

Das eben angedeutete Princip dieser beiden verschiedenen Arten von Maschinen läßt sich natürlich nicht unmittelbar auf dieselben anwenden. Daß hauptsächlich die praktisch gegebenen Bedingungen eine Modification verlangen, ist bereits angeführt. Bevor wir aber auf diese Modificationen näher eingehen und somit die Beschreibung der vorzüglichsten Arten von Dampfmaschinen beginnen, wollen wir die, durch den Dampf entwickelte Arbeit in der Weise betrachten, wie es Poncelet *), Lardner **), Prechtl ***) u. A. gethan haben, um diejenige Art der Wirkung des Dampfes kennen zu lernen, welche bei der Dampfmaschine selbst unmittelbar zur Anwendung gelangt.

§. 5.

Es sei B ein Cylinder (siehe beistehende Figur), welcher oben offen, unten aber mit einem Boden versehen ist, in welchen die Röhre a mündet. Durch diese kann der Cylinder mit einem Dampfkessel A frei communiciren, so lange die Röhre nicht durch einen Hahn verschlossen wird, der beliebig in derselben angebracht werden kann. In dem Cylinder B bewege sich dampfdicht ein Kolben b. Der Kolben hängt an einer Kette, welche über die Rolle c geführt und an deren anderem Ende ein Gewicht p befindlich ist, das man durch Auflegen verschiedener Gewichtsscheiben beliebig reguliren kann. Man balancire auf diese Weise das Gewicht des Kolbens und den Widerstand, den seine Reibung an der Cylinderwand verursacht (welche zusammen ebenfalls = p seien), so daß der Kolben freischwebend im Cylinder auf- und niedergleiten kann. Da der Cylinder oben offen ist, so erleidet der Kolben aber noch den vollen Druck der Atmosphäre, der auf einen Quadratcentimeter seines Querschnitts $1^{k},03$ beträgt.



Befindet sich nun in dem Dampfkessel A Dampf von genau 1 Atmosphäre Spannung, so wird der Luftdruck durch den Dampfdruck balancirt, und der Kolben wird, sobald A und B frei mit einander communiciren, still stehen, da er als vollkommen druck- und gewichtslos zu betrachten ist. Der Kolben stehe am Boden des Cylinders, unmittelbar über a. Zu dem Gewicht p füge man nun ein Gewicht P hinzu. Sogleich wird der Kolben steigen, da er durch das Uebergewicht P aufwärts gezogen wird, während dasselbe niedergeht. In dem Maße, als

*) Poncelet, Mécanique industrielle. Vol. I. §. 187 etc.

**) Lardner, Dampfmaschine, Uebersetzung nach der 5. Auflage. Leipzig 1836. §. 125 2c.

***) Prechtl, Technol. Encyklopädie. Bd. III. S. 586.

sich der Kolben hebt, folgt ihm der Dampf von 1 Atmosphäre Spannung, ohne eine andere Wirkung auszuüben, als dem Luftdruck von oben fortwährend das Gleichgewicht zu halten. Ist der Kolben an dem oberen offenen Ende des Cylinders angekommen, hat er also die Höhe h erreicht, so werde er durch irgend ein Mittel aufgehalten, z. B. indem der Kolben an einen Vorsprung anschlägt, oder das Gewicht P auf den Erdboden aufsteht, wodurch es verhindert ist, weiter zu fallen.

In diesem Moment ist der ganze Cylinder mit Dampf von einer Atmosphäre Spannung gefüllt, der aber keine nützliche Wirkung ausüben kann, da ihn der Luftdruck daran hindert. Jetzt spritze man in den Cylinder kaltes Wasser ein. Der Dampf condensirt sich und es entsteht ein luftleerer Raum, sobald das Dampfrohr a geschlossen wird. Der volle Druck der Luft kann also nun bewegend auf die Kolbenfläche einwirken, weil derselbe keinen Gegendruck mehr zu überwinden hat, sondern nur noch das zu p hinzugefügte Gewicht P. Ist dieses Gewicht nicht größer, sondern ebenso groß als der Luftdruck, so wird jetzt der Kolben nieder bewegt und das ganze Gewicht P vermöge des Luftdruckes gehoben. Die Wirkungsgröße, welche die äußere Atmosphäre dabei entwickelt, ist

$$W = P \, . \, h.$$

d. h. das Product aus der Kraft in den Weg.

Diese Wirkungsgröße wird so oft entwickelt werden, als der Cylinder unter dem Kolben durch das Oeffnen von a sich mit Dampf füllt, während P niederfällt; sodann dieser Dampf wiederum condensirt wird, wodurch P um die Höhe h gehoben wird.

Hat also z. B. der Kolben b einen Querschnitt von 1 Quadratmeter, so drückt die äußere Luft mit einem Gewicht von 10330 Kilogrammen auf ihn. Das Gewicht P kann also theoretisch ebenfalls 10330 Kilogr. = 200 Centner betragen. Ist nun die Höhe h = 1 Meter, so wird der Kolben, sobald er diese Höhe erreicht hat und der Dampf unter ihm condensirt wird, das Gewicht von 200 Centner 1 Meter hoch heben, also entwickelt der Luftdruck dabei eine Wirkungsgröße von

$$10330^{k} \, . \, 1^{m} = 10330 \text{ Kilogrammeter.}$$

Es ist dabei immer fest zu halten, daß der Dampf nur als Mittel dient, einen luftleeren Raum hervorzubringen, daß er also nur indirect wirksam ist. Der Druck der äußeren Atmosphäre ist allein das bewegende Mittel und man nennt daher die darauf begründeten Dampfmaschinen mit Recht atmosphärische Maschinen, die ersten, welche in ihrer Anwendung der Industrie überhaupt namhaften Dienst leisteten.

Ihr Constructeur ist Newcomen, der sich (in Verbindung mit Savary und Cowley) im Jahr 1705 darauf ein Patent ertheilen ließ. Das Princip dieser Maschine ist aber bereits 1690 von Denis Papin (Dionysius Papinus) in der klarsten Weise ausgesprochen worden. Papin ist der Erfinder des Kolbens und der Erste, welcher erkannte, daß der Wasserdampf ein einfaches Mittel sei, um große luftleere Räume durch Condensation herzustellen. Auf diesen beiden Momenten beruht aber die ganze Wirksamkeit der atmosphärischen Maschine, deren Princip Papin noch erweiterte.

(Siehe §. 7.) Darum kann Papin's Maschine erst nach der von Newcomen beschrieben werden, obgleich sie in der historischen Reihenfolge vor derselben genannt werden muß.

§. 6.

Die beistehende Figur *) giebt die Disposition der atmosphärischen Maschine von Newcomen, welche zur Hebung des Grubenwassers aus Bergwerksschachten angewendet wurde und sogar jetzt noch zuweilen benutzt wird. Im



Kessel A wird der Dampf producirt. Er ist mit der nöthigen Feuerung, einem Sicherheitsventil und sonstiger Armatur versehen, die nicht hierher gehört. Der im Kessel gebildete Dampf kann vermittelst einer Verbindungsröhre in den Dampfcylinder B übertreten. Ein Hahn a, der Dampfhahn, ist in diesem Dampfrohr angebracht, wodurch man die Communication zwischen Kessel und Cylinder abwechselnd herstellen und unterbrechen kann. In dem Cylinder bewegt sich ein Kolben C dampfdicht auf und nieder. In der Figur hat er seine höchste Stellung ziemlich erreicht. Dieser Kolben ist vermittelst einer Kette an das eine Ende eines hölzernen Balanciers D befestigt, der sich um einen, in seinem Mittelpunkt angebrachten Zapfen dreht. Das andere Ende des Balanciers trägt, ebenfalls mittelst einer Kette, das Schachtgestänge E, dessen Gewicht noch durch die künstliche Belastung F vermehrt ist und welches unmittelbar die Grubenwässer aus dem Schacht durch eine Pumpe hebt, die am Gestänge befestigt ist.

*) Aus: Delaunay, Mécanique théorique et appliquée. Paris 1851.

Sobald der Hahn a geöffnet wird, äquilibrirt der Dampfdruck, welcher der atmosphärischen Spannung gleich gemacht wird, den Luftdruck. Das Gestänge E kann folglich theils durch sein eigenes Gewicht, theils mit Hülfe des Uebergewichtes F sich niederbewegen. Der Niedergang der Pumpenstange kann überhaupt nur dadurch bewirkt werden, daß das Pumpengestänge so schwer ist, daß es durch sein eigenes Gewicht niedergeht, wenn auf der andern Seite des Balanciers keine Kraft entgegenwirkt. Der Kolben C wird dabei durch Vermittelung des Balanciers D und der entsprechenden Kette, im Dampfcylinder aufwärts gezogen, wobei der Dampf aus dem Kessel der Bewegung des Kolbens ungehindert folgt. Schließt man nun den Hahn a und bewirkt durch was immer für ein Mittel die Condensation des Dampfes im Cylinder, so ist der atmosphärische Druck nun nicht mehr durch den Dampfdruck balancirt, der Kolben wird niedergedrückt bis auf den Boden des Cylinders und hebt somit, durch den Balancier, das Pumpengestänge E.

Die Art der Aufhängung des Kolbens und des Schachtgestänges am Balancier, durch Ketten, welche wohl einen bedeutenden Zug aushalten, aber nicht dem geringsten Schub Widerstand leisten, beweist schon, daß der Dampf bei diesen Maschinen durchaus nicht direct, sondern nur durch Condensation thätig ist. Denn wenn der Dampf auch wirklich einen Ueberdruck über den Atmosphärendruck besäße, folglich den Kolben aufwärts schieben könnte, so würde dadurch die Verbindungskette doch augenblicklich schlaff werden und das Pumpengestänge müßte nach wie vor durch sein eigenes, künstlich vermehrtes Gewicht niedersinken. Dies giebt schon eine Andeutung für die Construction der durch das Gestänge bewegten Pumpe. Die Pumpe kann nur Wasser heben, wenn der Dampfkolben niedersinkt, also das Schachtgestänge aufwärts steigt. Wenn der Kolben dagegen nach oben sich bewegt, was ohne Kraftäußerung geschieht, so kann die Pumpe nur saugen.

Die Wassermenge, welche bei jedem Hube des Pumpengestänges E gefördert werden kann, hängt hauptsächlich von der Größe des Kolbens C ab. Wenn dieser Kolben 1 Quadratmeter Querschnitt hat, während der Dampfcylinder eine Hubhöhe von 1 Meter hat, so ist (nach §. 5) die theoretische Wirkungsgröße 10330 Kilogrammeter, vorausgesetzt, daß im Cylinder ein vollkommenes Vacuum erzeugt werde und alle Hindernisse der Reibung ꝛc. beseitigt werden könnten, was freilich niemals stattfinden wird. Auch das Gewicht des Schachtgestänges ꝛc. ist dabei nicht berücksichtigt, oder vielmehr dessen Hebung ist als nützliche Wirkung mit eingerechnet. Es könnte also theoretisch eine Wassermasse von 10330 Klgr. 1 Meter hoch gehoben werden, oder 1033 Klgr. Wasser 10 Meter hoch, oder 103 Klgr. 100 Meter hoch und so fort.

Um die Condensation des Dampfes im Cylinder zu bewirken, benutzte man zuerst ein Mittel, dessen sich schon früher Savary bediente. Man ließ nämlich kaltes Wasser auf die Außenseite des Cylinders, den Cylindermantel, fallen. Diese Abkühlungsmethode ging natürlich sehr langsam vor sich. Man fand durch Zufall eine bessere. Eines Tages bemerkte man, daß die Condensation mit überraschender Schnelligkeit vor sich ging. Indem man nach der Ursache suchte, entdeckte man, daß diese Erscheinung durch eine Wasserschicht hervorgerufen wurde, mit welcher der Kolben bedeckt war, um Luftzutritt oder Dampfaustritt zwischen Kolben und Cylinderwand zu verhüten. Da der Kolben nicht dicht hielt, so tropfte das Wasser in den Cylinder, der mit Dampf angefüllt war, und bewirkte

dadurch die überraschend schnelle Condensation des Dampfes. Man benutzte diese Erfahrung und führte die Condensation durch Injection von kaltem Wasser ein.

Man ließ eine Röhre c, welche kaltes Wasser aus dem Reservoir G herbeiführte und an ihrem Ende mit einem durchlöcherten, siebähnlichen Boden versehen war, in den Cylinderboden münden. Ein Hahn a_1, der Injectionshahn, regulirt und unterbricht die Wasserinjection, die wie bei der Gießkanne durch eng neben einander liegende dünne Wasserstrahlen bewirkt wird. In der Figur S. 251 ist der Dampfhahn a so eben geschlossen worden, der Injectionshahn a_1 geöffnet und das kalte Wasser aus dem Reservoir G beginnt den Dampf zu condensiren. Der Kolben C fängt an zu sinken und kommt um so schneller am Cylinderboden an, je rascher die Condensation vor sich geht. Sobald er unten angekommen, dreht man beide Hähne um eine Viertelswendung und bringt sie in ihre zweite Stellung, bei welcher a offen und a_1 geschlossen ist. Das Spiel beginnt von Neuem und so fort.

Um das Injectionswasser und den condensirten Dampf wegzuschaffen, ist am Cylinderboden noch ein Rohr d angebracht. Man kann durch dasselbe entweder das Wasser von Zeit zu Zeit beseitigen, indem man einen in d angebrachten Hahn nach Belieben öffnet. Oder besser, man entfernt den condensirten Dampf sogleich, wenn er sich gebildet hat, bei jedem Kolbenaufgang selbstthätig (self-acting) dadurch, daß man das Rohr d am unteren Ende umbiegt und mit einem Klappenventil versieht, das sich nur nach außen öffnet. Während der Kolben aufwärts steigt, fließt das, beim vorher erfolgten Niedergang des Kolbens gebildete Condensationswasser ungehindert ab, indem es mit dem Ueberdruck seines eigenen Gewichtes das Ventil aufstößt. Sobald aber die Dämpfe auf's Neue condensirt werden, ist im Cylinder eine Spannung, die weit unter dem Atmosphärendruck liegt, die äußere Luft schließt also durch ihren Druck die Klappe so lange, bis die Condensation zu Ende ist und neuer Dampf in den Cylinder tritt, wobei sich sogleich das Ventil in d wieder öffnet.

Auch die Speisung der Condensationscisterne G kann selbstthätig geschehen. Man bringt nämlich am Pumpengestänge E noch eine kleine Hülfspumpe an, die bei jedem Zug des Balanciers im Reservoir G das Injectionswasser ersetzt, welches während dieser Zeit im Cylinder verbraucht wird.

Endlich kann man auch die Hähne a und a_1 sich selbstwirkend öffnen und schließen lassen. Bei den Maschinen, wie sie Newcomen construirte, war stets eine Person beschäftigt, diese Hähne zur gehörigen Zeit zu drehen. Ein zu diesem Geschäft angestellter Knabe, Humphry Potter, welchem die einförmige Handhabung der Ventile langweilig war, soll zuerst auf den Gedanken gekommen sein, das Oeffnen und Schließen der Hähne durch die Maschine selbst bewirken zu lassen, eine Verbesserung, die für die Construction der Dampfmaschine von großer Bedeutung wurde. Die selbstwirkende Steuerung der atmosphärischen Maschine kann natürlich auf die verschiedenste Art erreicht werden. Potter soll sie dadurch bewirkt haben, daß er Schnüre an die Griffe band, durch welche die Hähne gedreht wurden und diese Schnüre zum Balancier führte, an welchem sie dergestalt befestigt wurden, daß der Balancier, wenn er sich hob und senkte, die Schnüre zur rechten Zeit anzog und die Hähne dadurch mit größter Regelmäßigkeit öffnete und

schloß. In unserer Zeichnung sind die Hähne a und a_1 mit zwei Rädchen versehen, die durch eine Schnur ohne Ende verbunden sind. Wenn man das eine Rad vermittelst des Handgriffes b dreht, so bewegt sich auch das andere Rad. Die Hähne müssen also vorher so gestellt sein, daß ihre Thätigkeit immer entgegengesetzt ist, d. h. daß a sich öffnet, wenn a_1 durch denselben Zug sich schließt, und umgekehrt. Dieser Zug am Handgriff b kann nun entweder durch den Balancier oder durch das Pumpengestänge geschehen, vermittelst einer Schnur, Schubstange oder eines Anschlages — doch muß die Einrichtung so getroffen sein, daß die Bewegung der Hähne unmittelbar vorher geschieht, ehe der Dampfkolben seine höchste oder tiefste Stellung einnimmt.

Es ist klar, daß die Maschine einen um so besseren Nutzeffect giebt, je schneller, bis zu einer gewissen Grenze hin, der Kolben auf- und niedersteigt. Denn je öfter er z. B. in 1 Minute seinen Lauf vollenden kann, desto öfter wird auch in derselben Zeit die seiner Wirkungsgröße entsprechende Wassermasse gehoben werden, wodurch allein erst zu bestimmen ist, einen wie großen Nutzeffect in Pferdekräften, die Maschine giebt, im Verhältniß zu dem verbrauchten Dampfvolumen und Feuermaterial. Der Nutzeffect einer Pferdekraft ist 75 Kilogramm 1 Meter hoch in der Secunde gehoben, also 4500 Klgrmeter per Minute. Wenn also im früheren Beispiel der Kolben von 1 Quadratmeter Querschnitt und 1 Meter Hub seinen Doppelhub in 1 Minute 1 Mal vollendet, so giebt die Maschine einen theoretischen Nutzeffect von

$$\frac{10330}{4500} = 2{,}3 \text{ Pferden.}$$

Kann das Spiel des Kolbens aber auf 2 Mal per Minute gesteigert werden, so leistet die Maschine den doppelten theoretischen Nutzeffect, oder 4,6 Pferdekraft Arbeit und so fort. Die Geschwindigkeit der Förderung wird freilich bald ihre Grenze darin finden, daß zur Condensation des Dampfes immerhin ein verhältnißmäßig langer Zeitraum gebraucht wird. Um diese Zeit aber möglichst zu vermindern, ist die Präcision der Bewegung der Hähne und die Auffindung des Mittels, das Condensationswasser möglichst vortheilhaft anzuwenden, natürlich von Bedeutung. Deshalb war die Entdeckung der Wirkung der Injection und die Erfindung der Selbststeuerung ein wichtiges Moment in der Entwickelungsgeschichte der Dampfmaschine. Trotzdem ist aber der Nutzeffect der atmosphärischen Maschinen, im Vergleich zu dem verbrauchten Brennmaterial, sehr gering, weil eine bedeutende Menge Wärme nutzlos verschwendet wird. Denn zunächst wird der entwickelte Dampf von 1 Atmosphäre Spannung doch nur zur Condensation verwendet. Die Wirkungsgröße, die er also beim Aufsteigen in dem Cylinder entwickeln könnte, wenn nicht der Atmosphärendruck ihn darin hinderte, geht ganz verloren. Ferner muß, um eine möglichst schnelle und vollkommene Condensation dieses Dampfes zu erzielen, eine ziemlich bedeutende Menge kalten Wassers in den Cylinder eingespritzt werden. Dadurch aber wird die Cylinderwand abgekühlt und überdies bleibt immer eine kleine Wasserschicht im Cylinder zurück, die nicht beseitigt werden kann. Kommen nun frische Dämpfe mit der erkälteten Cylinderwandung und dem zurückgebliebenen Condensationswasser in Berührung, so condensirt sich der Dampf schon vor der Zeit. Eine bedeutende Menge Wärme wird also lediglich dazu verschwendet, die Cylinderwände und das

restirende Wasser zu erwärmen, welche Wärme beim abermaligen Niedergange des Kolbens durch neues Injectionswasser absorbirt wird.

Diese Uebelstände konnten beseitigt werden durch ein verändertes Princip der Anwendung des Dampfes, und wir verdanken dasselbe Papin und Leupold, deren Grundidee wir jetzt zu verfolgen haben, eine Idee, welche die atmosphärische Maschine erst zur Dampfmaschine machte.

Wenn also auch den Engländern die Ehre verbleiben mag, die atmosphärische Maschine erfunden oder wenigstens zuerst angewendet zu haben, so gebührt die Ehre der Erfindung der Dampfmaschine Papin, und somit zwar anscheinend den Franzosen, doch richtiger den Deutschen. Denn Papin war zwar zu Blois geboren, doch hat er, aus Frankreich vertrieben, seine Erfindungen in Heidelberg und Marburg gemacht, und dieselben in Leipzig, Kassel und Frankfurt veröffentlicht *).

Uebrigens ging Newcomen's Maschine aus einer Idee Papin's hervor, und die atmosphärische Maschine erhielt ihren oben beschriebenen Grad der Vollkommenheit erst im Jahre 1712. Noch allgemeiner gebräuchlich wurde sie in England sogar erst durch die von Beighton an ihr angebrachten Verbesserungen zu einer Zeit, wo Papin's Erfindungen schon längst bekannt gemacht waren **).

§. 7.

Um Papin's Princip zu verfolgen, kehren wir nochmals zu der Figur in §. 5 (S. 249) zurück. Es ist klar, daß, so lange der Cylinder B oben offen und der Dampf nur dem Atmosphärendruck gleich ist, der Druck des aufsteigenden Dampfes ohne Wirkung ist, weil derselbe von dem Luftdruck im Gleichgewicht gehalten wird. Aber schon, wenn man den Dampf mit höherer Spannung als der von 1 Atmosphäre wirken läßt, und zugleich eine andere Uebertragung der Bewegung des Kolbens, als durch die Kette wählt, wird der Dampf zu directer Wirksamkeit kommen.

Noch vortheilhafter wird er endlich wirken, wenn der Dampfcylinder oben geschlossen ist und man ein Mittel findet, den äußeren Atmosphärendruck zu beseitigen.

In diesen Andeutungen liegt die ganze Geschichte der Vervollkommnung der Dampfmaschine und der Schlüssel zur endlichen Vollendung derselben, wozu aber ein Zeitraum von beinahe 100 Jahren erforderlich war.

---

*) Siehe Geschichte der Dampfmaschine.

**) Die Betrachtung der atmosphärischen Maschinen, welche für die Gegenwart nicht mehr von Bedeutung sind, hiermit beschließend, verweisen wir Diejenigen, welche sich specieller unterrichten wollen, auf Pambour, Poncelet, Tredgold u. Prechtl. Pambour giebt in seiner Theorie der Dampfmaschine (deutsch von Schnuse) eine vollständige Theorie der atmosphärischen Maschine im 12. Cap. (S. 218—264). — Tredgold und nach ihm Prechtl (technol. Encyklop. Bd. III. S. 617—621. Taf. 55 Fig. 1 u. Taf. 54 Fig. 3) giebt die Zeichnung, Beschreibung und Berechnung einer verbesserten atmosphärischen Maschine mit äußerer Condensation, oder mit abgesondertem Condensator, welche wir hier nur erwähnen wollen, ohne sie näher zu betrachten. — Poncelet giebt die Theorie dieser Maschine in seinem „Lehrbuch der Anwendung der Mechanik auf Maschinen" (deutsch von Schnuse, 1848) im II. Bd. S. 323—343.
Anm. d. Verf.

Papin blieb bei der ersten Verbesserung stehen, die er, wie schon erwähnt, vor Newcomen's Patent veröffentlichte. Erst Watt war es vorbehalten, den zweiten Schritt zu thun, wodurch die Dampfmaschine ihre, noch jetzt bestehende Gestalt erhielt.

Betrachten wir zunächst das Gewicht P (§. 5) nicht als Last, sondern als Kraft, d. h. nicht als Zweck, sondern als Mittel. Bisher sank das Gewicht P nutzlos nieder, ohne eine andere Wirkungsgröße zu erzeugen, als den Kolben zu heben. Das Heben des Gewichtes auf seine vorige Höhe war also die ganze Arbeit, welche nicht einmal der Dampf, sondern die Atmosphäre verrichtete.

Anders gestaltet sich die Betrachtung, wenn wir das Gewicht P als Mittel ansehen, den Luftdruck zu balanciren, also an die Stelle der bisherigen Wirksamkeit des Dampfes zu treten und dadurch diesem zu gestatten, frei und selbstständig wirken zu können. Wenn dann der Dampf, wie früher, 1 Atmosphäre Spannung hat, so ist diese Spannung nunmehr ein nützlicher Ueberdruck, welcher beim Aufsteigen des Kolbens eine Wirkungsgröße entwickeln kann. Ist der Kolben am Ende des Cylinders angekommen, also das Balanciergewicht P herabgesunken, so muß dieses Gewicht allerdings beseitigt werden, damit bei nunmehriger Condensirung des Dampfes der Luftdruck abermals in seine Rechte treten und den Kolben nach wie vor niederwärts schieben kann.

Das Gewicht P ist also dabei nur ein Hinderniß. Dieses ganz zu beseitigen, ist die nächste Aufgabe. Man braucht dem Dampf nur eine Spannung zu geben, welche höher ist, als der Atmosphärendruck, um nicht nur das Gewicht P, sondern auch das den Kolben balancirende Gewicht p entbehren zu können. Der Dampf übernimmt dann eine doppelte Rolle. Hat er z. B. 2 Atmosphären Spannung, so bedarf er 1 Atmosphäre (und etwas darüber), um den Luftdruck und Kolben zu balanciren, während die zweite Atmosphäre als nützlicher Ueberdruck nach Belieben verwendet werden kann. Soll nach erfolgter Wirkung der Dampf sodann entfernt werden, damit der Kolben niedersteigen kann, so bedarf es dazu auch nicht der zeitraubenden und wärmeverschwendenden Condensation, sondern man stellt eine Verbindung zwischen dem dampfgefüllten Cylinder und der Atmosphäre her. Da der Dampf eine Spannung hat, die höher als der Atmosphärendruck ist, so entweicht er mit großer Schnelligkeit in die Luft, sobald nur eine Veranlassung dazu sich zeigt, er beseitigt sich also selbst, ohne jede andere Beihülfe, als der Oeffnung eines passend angebrachten Dampfhahnes.

Dies ist der Gedankengang, den Papin und Leupold in den Jahren 1690—1724 verfolgten und der zur Herstellung der ersten Condensationsmaschine und der ersten Dampfmaschine mit Hochdruck führte.

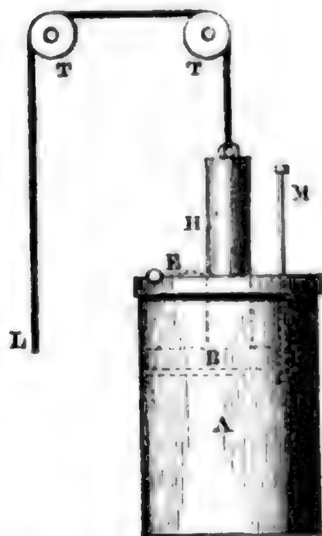
Papin's erste, hierher gehörige Kolbendampfmaschine mit Condensation vom Jahre 1690 hatte im Wesentlichen folgende Einrichtung *).

In dem Cylinder A, der unten geschlossen, oben aber offen ist, bewegt sich der Kolben B luftdicht auf und nieder. Bevor man den Kolben in den Cylinder einsetzt, gießt man auf den Boden des Cylinders ein bestimmtes Volumen Wasser.

---

*) In dem Recueil de diverses pièces touchant quelques nouvelles machines. Cassel 1693. p. 53—61. — Siehe auch: Akten von Leipzig für das Jahr 1688. S. 644. — Die Abbildung ist aus Delaunay Mécanique.

Im Kolben selbst ist eine Durchbohrung C angebracht. Durch diese entweicht die, zwischen dem Kolben und der Wasserschicht am Cylinderboden eingeschlossene Luft, sobald man den Kolben einsetzt. Auf diese Weise macht man den Cylinder luftleer und kann somit den Kolben bis auf die Wasserschicht niederstoßen, worauf man die Oeffnung C mit einem metallenen Stöpsel M verschließt. Nunmehr beginnt man den Cylinderboden zu erwärmen und dadurch das im Cylinder befindliche Wasser in Dampf zu verwandeln. Papin's erste Maschine war also ohne abgesonderten Kessel, so daß der Cylinder A die Function des Dampfcylinders und Dampfkessels zugleich versah. Indem das Wasser im Cylinder erhitzt wird, erreicht es bald eine Temperatur, bei welcher die Spannung des gebildeten Dampfes fähig ist, den Luftdruck zu überwinden. Der Dampf kann seinem Streben, sich auszudehnen, folgen, und der Kolben B, der auf seiner unteren Fläche einen größeren Druck erleidet, als auf der oberen Fläche, steigt bis zu einer gewissen Höhe aufwärts, welche von der Dampfspannung und von der verbrauchten Wassermenge abhängt. Bei hinlänglichem Wasserquantum kann man den Kolben bis an das Ende des offenen Cylinders treiben.



Dort angekommen, hält man den Kolben in dieser höchsten Stellung vermittelst einer Klinke E fest, welche in einen Ausschnitt der Kolbenstange H einfällt. Nunmehr entfernt man das Feuer unterhalb des Cylinders und dieser kühlt sich wiederum ab. Man kann diese Abkühlung, wie früher angegeben, beschleunigen, indem man den Cylindermantel mit kaltem Wasser umgiebt, oder noch besser, indem man Wasser in den Cylinder injicirt. Dadurch gewinnt der Atmosphärendruck wieder die Oberhand, während der Dampf im Cylinder sich condensirt. Sobald man nun die Klinke E aushebt, folgt der Kolben dem Atmosphärendruck und bewegt sich wieder auf den Boden des Cylinders zurück, den er allerdings nicht so nahe als früher erreichen wird, da ein Rest von uncondensirtem Dampf ihn daran hindert.

Dieselben Erscheinungen wie früher treten nunmehr ein, sobald man wieder Feuer unter den Cylinder bringt. Auf diese Weise steigt der Kolben mit Dampfüberdruck nach oben, durch Luftüberdruck nach unten. Befestigt man also ein Gewicht an der Schnur L, welche über die Rollen TT geführt und an der Kolbenstange H befestigt ist, so wird das Gewicht durch den niedergehenden Kolben gehoben. Legt man dagegen Gewichte auf den Kolben auf, oder verbindet sie durch Balanciers oder andere passende Hebelvorrichtungen mit der Kolbenstange H, so werden diese Gewichte durch den, mit Dampfüberdruck aufwärts steigenden Kolben B gehoben.

Man erkennt in dieser Maschine, die von Papin zuerst im Kleinen ausgeführt wurde, das Princip der atmosphärischen Maschine von Newcomen wieder. Papin stellte später Dampfmaschinen in dieser Weise her, welche gußeiserne Cylinder von mehreren Fuß Durchmesser und der entsprechenden Höhe hatten.

Sie wurden bis zum Jahre 1836 im Gießhause zu Kassel aufbewahrt, wo sie beim Brande dieses Gebäudes zu Grunde gingen *).

§. 8.

Die Wirkungsart des Dampfes in Papin's erster Maschine, so wie die Berechnung der Arbeit, die er dabei ausübt, giebt zugleich Veranlassung, einige Hauptgesetze der Dampfbildung uns zu vergegenwärtigen. Gesetzt, der Kolben B, also auch der Cylinder A habe 1 Quadratfuß engl. Querschnitt **). Auf dem Boden des Cylinders befinde sich 1 Kubikzoll Wasser in dünner Schicht ausgebreitet. An der Schnur L (siehe die Figur S. 257) befinde sich ein kleines Gegengewicht, welches den Kolben B balancirt, so daß derselbe durch die Wirkung des geringsten Druckes unter ihm, aufsteigen kann. Auf den Kolben wirkt von oben der Atmosphärendruck mit 15 Pfd. engl. auf den Quadratzoll. So wie das Wasser im Cylinder, das also ebenfalls nur unter 1 Atmosphärendruck steht, bis 100° C. erhitzt ist, beginnt die Dampfentwickelung. Der Kolben stehe dicht über der siedenden Wasserschicht, am Cylinderboden.

Dampf von 1 Atmosphäre Druck besitzt ein relatives Dampfvolumen (oder specifisches Dampfvolumen), das 1696 Mal größer ist, als das des Wassers unter demselben Druck. Wenn also 1 Kubikzoll Wasser in Dampf verwandelt wird, so nimmt er einen Raum von circa 1700 Kubikzoll ein, d. h. von circa 1 Kubikfuß. Diesen Raum kann der Dampf aber nur einnehmen, wenn er den Kolben, der ihn daran hindert, aufwärts schiebt. Dies kann ohne alle Kraftäußerung geschehen, da der Kolben als gewichtlos zu betrachten ist. Weil derselbe 1 Quadratfuß Querschnitt hat, so wird er 1 Fuß engl. hoch gehoben werden (richtiger nur 11,77 Zoll), worauf der Dampf sein relatives Volumen ungehindert einnehmen kann. Die Spannung des Dampfes bleibt dabei fortwährend eine Atmosphäre, so lange die Temperatur des Wassers auf 100° C. constant erhalten wird.

Man sieht daraus, daß der Dampfdruck den Luftdruck balancirt, aber zugleich den Kolben 1 Fuß aufwärts schiebt, nur, um sich für sein relatives Volumen Platz zu machen, ohne alle nutzbare Kraftäußerung. Ist die Höhe von 1 Fuß erreicht und der Raum unter dem Kolben ganz mit Dampf gefüllt, so bleibt der Kolben stehen. Denn das Gleichgewicht ist wiederum hergestellt, welches nur dadurch gestört war, daß wir vor der Erwärmung Wasser von 1 Atmosphäre Druck, nach derselben aber Dampf von 1 Atmosphäre Druck im Cylinder haben. Nehmen wir noch an, daß, um diese Wirkung hervorzubringen, die den Cylinderboden erhitzende Lampe 15 Minuten lang habe wirken müssen.

Die Lampe werde nach vollbrachter vollkommener Verdampfung des Wassers weggenommen. Der Dampf beginnt, sich abzukühlen, also zu condensiren. Indem er sich in Wasser verwandelt, kehrt er zu seinem, 1700 Mal kleineren Wasservolumen zurück. Der von ihm früher erfüllte Raum von 1 Kubikfuß wird nunmehr dampf- und luftleer. Der Kolben wird folglich durch die ungehemmte Kraft

*) Pouillet-Müller's Physik. Bd. II. S. 399.

**) Wir wählen hier ausnahmsweise englische Maße, weil die Betrachtung dadurch sich einfacher gestaltet.

der Atmosphäre niedergedrückt und die daran befestigte Schnur L aufwärts gezogen. Der Luftdruck ist 15 . 144 Quadratzoll = 2160 Pfund auf den Kolben. Dieser kann also vermittelst der Schnur (Reibung ꝛc. abgerechnet) ein Gewicht von 2160 Pfund einen Fuß hoch heben, d. h. eine Wirkungsgröße von 2100 Fußpfund, in runder Zahl, ausüben, vermöge der, durch Condensation dem Dampf entzogenen Wärme, welche während der Dampfentwickelung 15 Minuten lang eingewirkt hatte.

Sobald durch Abkühlung aller Dampf wieder in Wasser verwandelt ist, steht der Kolben in seiner ersten Position, am Cylinderboden, und das Wasser habe wieder seine ursprüngliche Temperatur. Jetzt lege man auf den Kolben ein Gewicht auf, welches ebenso groß ist, als der atmosphärische Druck, also 2100 Pfd. Auf dem Wasser unter dem Kolben lastet nunmehr ein Druck, welcher dem von 2 Atmosphären gleich ist.

Läßt man nun die Lampe wieder einwirken, so wird das Wasser, wie vorher, in Dampf verwandelt. Aber die entsprechende Temperatur wird nicht 100° C., sondern 121,4° C. sein und das relative Dampfvolumen bei 2 Atmosphären Druck beträgt nur das 897fache des Wassers, d. h. annähernd die Hälfte des relativen Dampfvolumens bei 1 Atmosphäre. Der Kolben wird also jetzt nur $^1/_2$ Fuß (richtiger 6,2 Zoll) hoch gehoben werden, überwindet jedoch den doppelten Druck von 2 Atmosphären oder 2 . 2100 = 4200 Pfd.

Die Wirkungsgröße ist also wiederum 4200 Pfd. 0,5 Fuß = 2100 Fußpfund. Der Belastung gemäß entwickelte aber der Dampf einen Ueberdruck von 1 Atmosphäre, hob vermöge derselben das reelle Gewicht von 2100 Pfd. $^1/_2$ Fuß hoch, entwickelte also eine nützliche Wirkungsgröße von

2100 Pfd. . 0,5 Fuß = 1050 Fußpfund.

Die Zeit, die von dem Augenblick der ersten Anwendung der Lampe bis zur vollständigen Verwandlung des Wassers in Dampf verflossen ist, wird ebenso groß als das erste Mal, also 15 Minuten sein.

Wenn man nunmehr, nachdem die Lampe entfernt ist, also die Condensation beginnt, das wirklich gehobene Uebergewicht von 2100 Pfd. vom Kolben entfernt und dasselbe an die Schnur, wie früher, hängt, so wird der Luftdruck wieder in seine Rechte treten und beim Niederdrücken des Kolbens 2100 Pfd. heben. Da aber der Kolben nur $^1/_2$ Fuß hoch stand, kann dies Gewicht auch nur $^1/_2$ Fuß hoch gehoben werden. Die durch Condensation entwickelte Wirkungsgröße ist folglich

2100 Pfd. . 0,5 Fuß = 1050 Fußpfund.

Diese nützliche Wirkungsgröße zu der hinzugerechnet, welche der Dampf durch nützlichen Ueberdruck von 1 Atmosphäre beim Aufsteigen des Kolbens entwickelte, giebt, wie früher, die total entwickelte Wirkungsgröße von 2100 Fußpfund. Theoretisch genommen wird also in jedem der beiden Fälle gleichviel gewonnen, nur daß im ersten Fall die Wirkung lediglich durch Condensation, beim Niedergang; im gegenwärtigen Fall dieselbe theils durch Ueberdruck, theils durch Condensation, d. h. halb beim Aufgang, halb beim Niedergang des Kolbens gewonnen wird.

Wir machen noch ein drittes Experiment und belasten den Kolben, der den Atmosphärendruck zu tragen hat, mit einem reellen Gewicht von 4200 Pfd., welches 2 Atmosphären annähernd entspricht. Das Wasser kann nunmehr nur unter dem Druck von 3 Atmosphären sich in Dampf verwandeln. Die Siedetemperatur ist 135°, das relative Dampfvolumen 619 Mal das des Wassers.

Der Kolben steigt also nur

$$\frac{619}{144} = 4{,}3 \text{ Zoll} = \text{circa } \tfrac{1}{3} \text{ Fuß}$$

hoch. Der Dampf ist aber dabei dreimal so dicht, als beim ersten Versuch, und besitzt einen nützlichen Ueberdruck von 2 Atmosphären. Die gesammte entwickelte Wirkungsgröße ist

$$3 \,.\, 2100 \,.\, \tfrac{1}{3} = 2100 \text{ Fußpfund},$$

die nützliche Wirkungsgröße beim Aufsteigen des Kolbens durch 2 Atmosphären Ueberdruck ist aber

$$2 \,.\, 2100 \,.\, \tfrac{1}{3} = 1400 \text{ Fußpfund},$$

während die Wirkungsgröße durch Condensation

$$2100 \,.\, \tfrac{1}{3} = 700 \text{ Fußpfund},$$

d. h. die Ergänzung zu 2100 Fußpfund beträgt. Die Zeit, 1 Kubikzoll Wasser, welcher diese bedeutende Wirkungsgröße entwickelt, in Dampf zu verwandeln, ist wiederum 15 Minuten.

Diese Versuche bestätigen also folgende summarische Gesetze der Dampfbildung:

1) Die Elasticität des Dampfes ist gleich dem mechanischen Druck, unter welchem das Wasser, das den Dampf erzeugt, zum Sieden kommt *).

2) Der Rauminhalt oder das relative Dampfvolumen, welches der Dampf einnimmt, vermindert sich annähernd in demselben Verhältniß, als der Druck des Dampfes zunimmt. Das heißt: die Dichtigkeit des Dampfes steht in annähernd gleichem Verhältniß mit seinem Druck **).

3) Dieselbe Wärmemenge ist immer erforderlich, dasselbe Wasservolumen in Dampf zu verwandeln ***), wie groß auch der Druck sei, unter welchem das Wasser zum Sieden gekommen ist, oder, wie groß auch die Dichtigkeit und der Druck des erzeugten Dampfes sein möge.

4) Dieselbe in Dampf verwandelte Wassermenge bringt annähernd dieselbe mechanische Wirkung hervor, wie groß auch der Druck oder die Dichtigkeit des Dampfes sei ****). Der Unterschied der Wirkung liegt

---

*) Christian (Mécan. Industr. T. II. p. 225) bediente sich zur Untersuchung der Elasticität des Dampfes desselben Apparates, den wir hier als einfachstes Modell der Dampfmaschine angeführt haben. Siehe darüber: Artikel Dampf Bd. II. S. 96 des Lexicons, so wie die Tabellen S. 118 und 124.

**) Genauer ausgesprochen nimmt die Dichtigkeit des Dampfes weniger zu, als der Druck desselben, d. h. die Elasticität des Dampfes wächst schneller, als die derselben Temperatur zugehörige Dichtigkeit. Das Nähere darüber siehe im Artikel Dampf. S. 86 ff.

***) Ueber Verdampfungswärme siehe im Art. Dampf. Bd. II. S. 61 und 67 des Lexicons, die Untersuchungen von Person, Laplace und Pouillet, so wie Regnault's Untersuchungen, S. 78, welche genaue Angaben über die, hier nur summarisch wiedergegebenen Gesetze enthalten.

****) Die mechanische Wirkung ist für dasselbe Gewicht Dampf bei verschiedenen Temperaturen oder Elasticitäten nicht genau dieselbe. Da gleiche Gewichte Dampf gleiche Wärme-

aber darin, wieweit die Wirkungsgröße zu einer nutzbaren gemacht werden kann. Dies hängt theilweise davon ab, unter welchen Verhältnissen und Bedingungen (durch Druck, Condensation oder Expansion) die Wirkungsgröße entwickelt und gewonnen wird. Daraus folgt unmittelbar:

5) dieselbe Wärmemenge bringt immer dieselbe mechanische Wirkung hervor, welches auch der Druck des dadurch erzeugten Dampfes sei *).

Die drei ersten Gesetze gehören der Physik des Dampfes im Allgemeinen an und sind am gehörigen Ort zu entwickeln gewesen. (Siehe Art. Dampf.)

Die beiden letzten Gesetze aber, welche die mechanische Wirkung des Wasserdampfes betreffen, werden in dem folgenden Capitel näher erörtert werden, da auf ihrem Verständniß, so wie auf einigen allgemeinen Gesetzen der Mechanik die Theorie der Dampfmaschine und deren praktische Anwendung überhaupt basirt ist.

§. 9.

Papin's zweite Maschine, zu welcher wir uns jetzt bei der Betrachtung der verschiedenen Wirkungsarten des Dampfes wenden müssen, ging einen wesentlichen Schritt vorwärts — sie war eine Hochdruckmaschine ohne Condensation. Die in §§. 5 u. 6 betrachteten atmosphärischen Maschinen mit offenem Cylinder waren Condensationsmaschinen. Bei denselben hatte der Dampf die Aufgabe, den Luftdruck zu äquilibriren, durfte also gar keinen höheren Druck haben, als den von 1 Atmosphäre, da nur seine Eigenschaft, sich zu condensiren, ihn brauchbar machte.

Um die Wirkung zu ersetzen, welche durch die Condensation mit ebenso großem Zeitverlust als Wärmeverlust erreicht wird, wendete Papin Dampf von bedeutendem Ueberdruck an, wodurch der Kolben gehoben wurde, der nunmehr beim Niedergang kein, den Nutzeffect vermindertes Aequilibrirgewicht mehr zu heben hatte. Der Kolbenniedergang wurde allerdings noch immer durch den atmosphärischen Druck bewirkt, aber nur indirect dadurch, daß der äußere Luftdruck der Spannung des Dampfes das Gleichgewicht hielt. Der Dampf wurde beseitigt, indem man ihn in die freie Luft ausströmen ließ.

Leupold machte diese Maschine zuerst bekannt und beschrieb sie im Jahr 1724 **). Er soll, nach Arago ***), die Mittheilung dieser Idee Papin verdanken. Die Ausführung hat jedenfalls Leupold unternommen ****)

---

mengen enthalten, bei der Dampfmaschine aber die Elasticität der Dämpfe die bewegende Kraft ist, so folgt aus 2) und 3), daß für gleiche Wärmemenge eine größere Wirkung durch Dämpfe von höherer Temperatur oder Dichtigkeit erhalten werde, als bei geringerer Dichtigkeit oder Elasticität. Siehe darüber die Tabelle im Cap. II.

*) Dieses Gesetz hat durch das neuerlich von Carnot, Clapeyron, Joule, Mayer, Clausius und Rankine aufgestellte mechanische Aequivalent der Wärme einen neuen und interessanten Gesichtspunkt gewonnen. Siehe darüber den Art. Wärme, so wie u. A. Mayer, Bemerkungen über das mechan. Aequivalent der Wärme. (Leipzig 1851.)

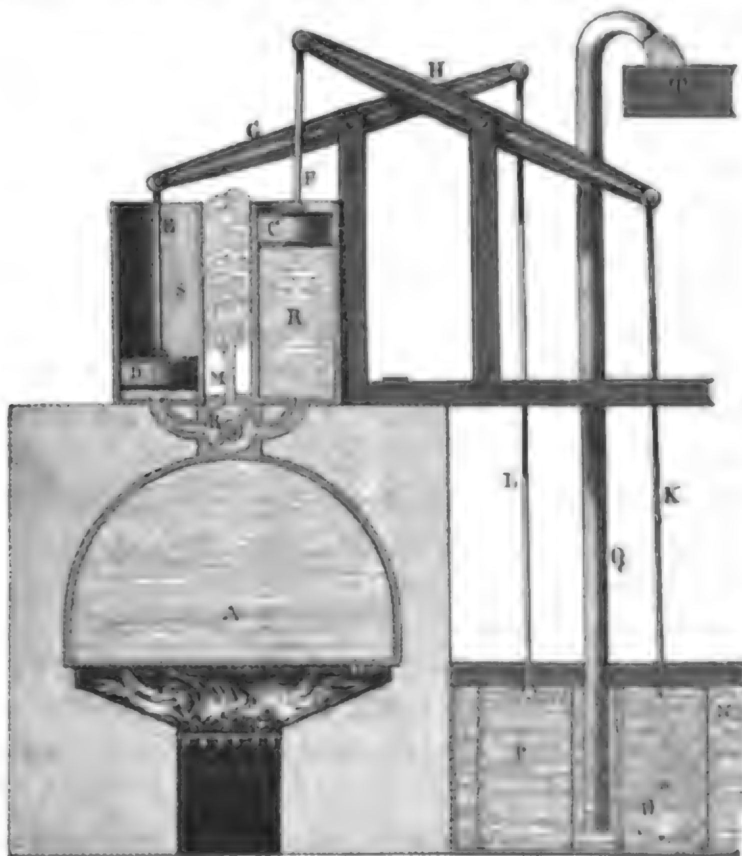
**) Im Theatrum machin. hydraul. 1724.

***) In dem Annuaire par le bureau des longitudes. 1829.

****) Die hier beigefügte Zeichnung ist nach Delaunay, Mécan.

und wir lassen dahingestellt, ob nicht die französische Eitelkeit Arago bewog, Leupold ein Verdienst zu schmälern, das ihm nicht nur theilweise, sondern ganz gebührt. Die Erfindung der Hochdruckmaschine ist aber jedenfalls in Deutschland gemacht, da auch Papin zu jener Zeit in Marburg war.

Ueber dem Kessel A, in welchem der Dampf erzeugt wird, befinden sich 2 Dampfcylinder R und S, welche mit dem Dampfkessel abwechselnd in Verbindung stehen. Die Dampfklappe B, unmittelbar zwischen den Dampfwegen angebracht, führt, je nach ihrer Stellung, den Dampf bald in den rechten, bald in den linken Cylinder. In der Peripherie des Kreises, den B beschreibt, sind 4 Canäle angebracht; einer führt in den Kessel, zwei in die beiden Cylinder, einer in die freie Luft. Durch die Stellung der Klappe communicirt jedesmal der eine Cylinder mit der Atmosphäre, während der andere mit dem Kessel in Verbindung steht.



In der Stellung, wie sie die Figur zeigt, tritt der Dampf aus dem Kessel in den Cylinder R und hat den Kolben C mit Ueberdruck bereits bis ziemlich an das Ende des Cylinders aufwärts getrieben. Der Cylinder S communicirt während dessen mit der freien Luft und die Atmosphäre hat in Folge davon den Kolben D bis nahe an den Cylinderboden niedergedrückt. Dreht man jetzt die Klappe B um einen rechten Winkel nach links oder rechts, so communicirt S mit dem Kessel und R mit der Luft, der Kolben D wird gehoben, der Kolben C niedergedrückt und so fort.

Vermittelst der Kolbenstangen E und F sind die Kolben mit den Balanciers G und H fest verbunden. Diese Balanciers tragen an ihrem entgegengesetzten Ende die Pumpenstangen K und L zweier Druckpumpen O und P, welche Wasser aus einer Cysterne N schöpfen und dasselbe abwechselnd durch die Röhre Q nach dem Reservoir

T aufwärts drücken. Die Construction der Pumpen gehört nicht hierher, doch ist klar, daß das Wasser durch die Röhre Q ununterbrochen aufwärts steigen muß, weil die Pumpe O drückt, während P saugt und umgekehrt. Die Pumpen können das Wasser nur heben, während ihre entsprechenden Dampfkolben aufwärts gedrückt werden, weil dies allein mit Kraftäußerung geschieht. Beim Niedergang werden die Dampfkolben auf ihrer oberen und unteren Fläche annähernd gleich stark gedrückt, da der durch M entweichende Dampf dabei eine Spannung hat, welche dem äußeren Atmosphärendruck ziemlich das Gleichgewicht hält, so daß der Dampfkolben vermöge seines eigenen Gewichtes niederfallen muß.

Die Betrachtung der Wirkungsart dieser Hochdruckmaschine mit offenem Cylinder ist sehr einfach. Der Dampf hat einen constanten Gegendruck von 1 Atmosphäre zu überwinden, bevor er den Kolben aufwärts schieben kann. Also wird er nach §. 8 eine um so bedeutendere nutzbare Wirkungsgröße entwickeln, je größer sein nützlicher Ueberdruck ist, da die Wirkung durch Condensation hier ganz verloren geht.

Ist z. B. die Dampfspannung 1,5 Atmosphären, so müßte, um Gleichgewicht herzustellen, jeder Quadratcentimeter des Kolbenquerschnittes mit dem Gewicht von $0^k,51$ (d. h. dem einer halben Atmosphäre) belastet werden. Ist der Dampfdruck 2 Atmosphären, müßte die Belastung $1^k,03$ per Quadratcentimeter betragen u. s. f. Da nun, so wie diese Belastung um ein Minimum geringer ist, die Kolbenbewegung stattfindet, so kann man aussprechen, daß Dampf von 2 Atmosphären Spannung so vielmal 1 Kilogramm Belastung heben wird, als der Dampfkolben Quadratcentimeter Querschnitt hat. Wie hoch er diese Belastung hebt und in welcher Zeit, beantwortet sich theilweise schon aus Früherem, theils werden wir diese Fragen noch näher untersuchen.

§. 10.

Bis jetzt war der Dampfcylinder oben offen angenommen, so daß der Gegendruck der Luft auf keine Weise zu beseitigen war. Wir gehen einen Schritt weiter und schließen unseren Dampfcylinder (siehe §. 5) an seiner oberen Fläche, bringen aber in dem Cylinderdeckel ein Rohr an, welches in einen abgesonderten Raum, den Condensator führt, der entweder durch eine Luftpumpe, oder durch vorher erfolgte Condensation von Wasserdampf ziemlich luftleer gemacht ist. Der, unter den Kolben nunmehr aus dem Kessel einströmende Dampf wird, sobald er die Spannung der äußeren Atmosphäre besitzt, mit demselben Gewicht P auf den Kolben drücken, als vorher die atmosphärische Luft, und ihn mit diesem Druck gegen den leeren Raum aufwärts bewegen, so daß, wenn die Hubhöhe = h ist, die Wirkung ebenfalls durch P . h ausgedrückt wird. Der Druck des Dampfes ist in diesem Fall vollkommen nützlicher Ueberdruck, je höher also dieser Druck, desto mehr Gewicht kann gehoben werden, vorausgesetzt, daß der Raum über dem Kolben vollkommen drucklos wäre, was freilich niemals der Fall ist.

Uebrigens leuchtet ein, daß auch Dampf wirksam sein kann, welcher den Atmosphärendruck gar nicht erreicht, da kein Gegendruck zu überwinden ist. Nach §. 8 wird dieser Dampf, bei sonst gleichem Dampfgewicht, zwar ein geringeres Gewicht, aber dieses auf eine größere Höhe heben (weil das relative Dampfvolumen

größer ist), wogegen Dampf von gleicher, oder höherer Spannung als die Atmosphäre ein größeres Gewicht auf eine geringere Höhe heben wird. Daß dieses Verhältniß nicht vollkommen gleich bleibt, sondern zu Gunsten des höheren Druckes sich gestaltet, ist schon in §. 8 erwähnt und wird weiter unten noch ausgeführt werden. Doch abgesehen davon, ist der Gewinn besonders zu beachten, der bei einem geschlossenen Cylinder überhaupt dadurch entsteht, daß der Gegendruck der Luft beseitigt werden kann, der, sobald er nicht mehr nützlich wirkt, nur schädlich auf den Nutzeffect wirken kann.

Die drei Kolbenmaschinen mit offenem Cylinder von Papin, Newcomen und Leupold, welche wir bisher kennen lernten, indem wir sie aus den Eigenschaften des Dampfes entwickelten, gaben zugleich eine Skizze des historischen Entwickelungsganges, den die Benutzung des Dampfes als Motor von den Jahren 1690—1769 nahm. In diesem Jahre trat der große Watt mit der Idee der geschlossenen Cylinder und des abgesonderten Condensators auf. Aus dieser Idee entwickelte sich eine Reihe von Maschinen, die einfach wirkende und doppelt-wirkende Dampfmaschine mit Niederdruck oder Hochdruck. Hier tritt endlich auch die Expansion des Dampfes in ihre Wirksamkeit ein und wir werden durch Betrachtung dieser verschiedenen Maschinen unmerklich auf den Boden der Gegenwart geführt werden, da die sämmtlichen Watt'schen Maschinen mehr oder minder noch heute im Gebrauch sind. Unter den schöpferischen Händen von Watt wurde die Dampfmaschine, welche bis dahin nur zum Wasserheben gebraucht werden konnte, zu einem universellen Bewegungsmechanismus erhoben, ein Rang, den sie noch heute einnimmt und lange behaupten wird.

§. 11.

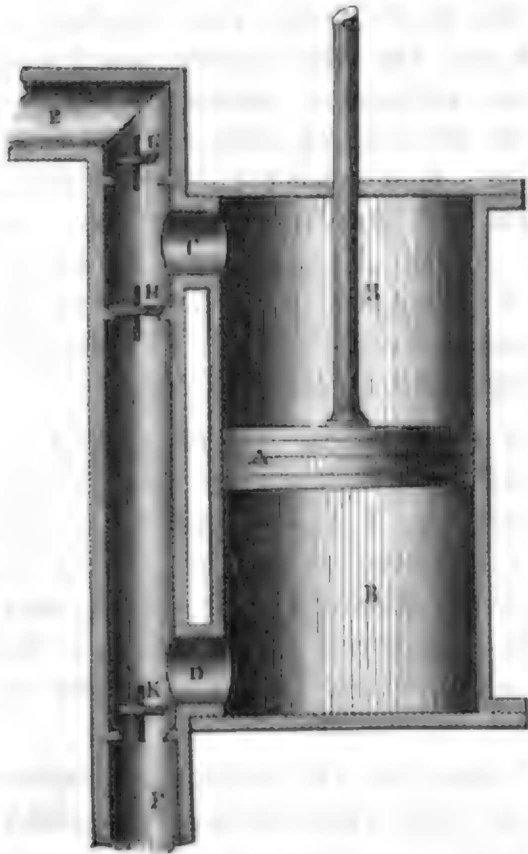
Die einfach wirkende Dampfmaschine construirte Watt in der Absicht, um die patentirten Newcomen'schen atmosphärischen Maschinen zu umgehen und zu ersetzen. Es ist offenbar, daß Watt in der ersten Zeit noch schwankend war, welches Princip er vorziehen solle, das des atmosphärischen Druckes, oder des Dampfdruckes. Sein Condensator ging unmittelbar aus Newcomen's Maschine hervor und man nannte auch diese Watt'schen Condensations-Maschinen zuerst nicht Dampfmaschinen, weil sie construirt wurden, ohne an den Dampf als alleinigen Motor zu denken.

Diese Condensations-Maschine oder einfach wirkende Dampfmaschine war, wie die atmosphärische Maschine, zunächst zum Wasserheben bestimmt. Die Kolbenstange ward, wie dort, an das eine Ende eines Balanciers befestigt, dessen anderes Ende ein Pumpengestänge bewegte. Der Kolben mußte gleichfalls in dem Cylinder durch das Gewicht des Pumpengestänges aufwärts gezogen werden, er wurde nicht durch den Dampfdruck gehoben. Der Kolbenniedergang wurde allerdings auch bewirkt durch die Differenz der Pressungen, welche auf die Kolbenflächen stattfand. Aber die Gleichheit des Druckes auf beiden Kolbenflächen beim Aufgang und die Ungleichheit des Druckes beim Kolbenniedergang, wird in Watt's Maschine auf ganz andere Weise, als bei Newcomen erlangt und benutzt.

Der Kolben A (siehe umstehende Figur) *) bewegt sich in Watt's Conden-

*) Aus Delaunay, Mécanique.

sations-Maschine in einem Cylinder B, welcher an beiden Enden geschlossen ist. Zwei Dampfrohre C und D, dicht unter dem Cylinderboden und Deckel angebracht, münden in das weite Hauptrohr EF, welches 3 Ventile G, H und K enthält.



Diese Ventile werden durch besondere Vorrichtungen, welche nicht hierher gehören, gehoben und geschlossen. Der, in einem abgesonderten Kessel gebildete Dampf wird durch die obere Mündung des Hauptrohres E, bei gehobenem Ventile G, in den Cylinder geführt. Nach vollbrachter Wirkung, welche wir sogleich verfolgen werden, entweicht der Dampf endlich durch das geöffnete Ventil K und die Mündung F in einen zweiten abgesonderten Raum, den Condensator. In diesem wird der Dampf vernichtet und dadurch ein nahezu druckloser Raum hergestellt, indem man in dem Moment, wo der Dampf in den Condensator eintritt, kaltes Wasser in Regenform einspritzt.

Um die Bewegung des Kolbens A herzustellen, bedarf es nur einer geregelten Aufeinanderfolge im Oeffnen und Schließen der 3 Ventile, zu passenden Momenten. Ist, wie in der Figur, zuerst H geschlossen, während G und K offen sind, so strömt der Dampf ungehindert (doch mit sehr bedeutendem Geschwindigkeitsverlust) durch das Rohr C oben in den Cylinder ein, drückt auf die obere Fläche des Kolbens A und bewegt diesen nieder. Der, unter dem Kolben von dem vorigen Kolbenspiel noch restirende Dampf (oder beim ersten Kolbenschub die eingeschlossene Luft) wird durch das Rohr D in den Condensator gedrückt, wobei der Dampf nur einen sehr geringen Gegendruck ausübt. Der Kolben kann sich überhaupt nur niederbewegen, wenn die Differenz der Pressungen auf seinen beiden Flächen fähig ist, die Widerstände zu überwinden und außerdem die beabsichtigte nützliche Arbeit auszuführen.

Im Moment, wo der Kolben an dem Zuführungsrohr D angekommen ist, schließt man durch passende Vorrichtungen die Ventile G und K und öffnet H. Dadurch communicirt der obere und untere Theil des Cylinders frei mit einander, während der Dampf von der Communication mit dem erzeugenden Kessel abgeschnitten ist, ohne in den Condensator entweichen zu können. Der Dampf strebt, den ganzen Raum auszufüllen, der sich ihm jetzt darbietet. Er expandirt und stellt dadurch eine zwar niedrigere, aber gleichmäßige Spannung im ganzen Cylinderraume her, so daß der Kolben auf beiden Flächen gleich starken Druck erleidet.

Der Kolben würde also stehen bleiben, wenn nicht das Pumpengestänge, das er bei seinem Niedergange vermittelst eines Balanciers gehoben hatte, ihn jetzt

aufwärts zöge, vermöge seines eigenen, nunmehr frei herabfallenden Gewichtes. Dabei bewegt sich der, ungefähr zum doppelten Volumen und halben Druck expandirte Dampf, genau der Bewegung des Kolbens folgend, aus dem oberen Theil des Cylinders in den unteren Theil, d. h. von der oberen Fläche des Kolbens weg nach der unteren Fläche desselben. Sobald der Kolben wieder bei C angekommen ist, schließt man H, öffnet wieder G und K und das Spiel beginnt von Neuem, während der expandirte Dampf durch den nun erfolgenden Kolbenniedergang in den Condensator gedrückt wird, um durch seine Vernichtung einen möglichst drucklosen Raum unterhalb des Kolbens zu erzeugen, zu Gunsten des Ueberdruckes des vollen Dampfes über dem Kolben. Die drei Ventile bezeichnet man nach ihrer Function mit besonderen Namen. G ist das Zulaß- oder Einströmungsventil; H ist das Gleichgewichtsventil; K ist das Auslaß- oder Ausströmungsventil. Dazu kommt noch im Condensator das Injectionsventil, welches das kalte Wasser in den dampferfüllten Raum einspritzt.

Die Anwendung des Dampfes, welcher bei geringem Gegendruck, an der Stelle des Luftdruckes die bewegende Kraft bildet, gestattet, dem vollen Dampf jede beliebige Spannung im Kessel zu ertheilen. Dadurch entsteht der constructive Vortheil, viel kleinere Dampfcylinder anwenden zu können, als bei den atmosphärischen Maschinen. Denn bei gesteigerter Spannung und hinlänglichem Dampfquantum erleidet ein Kolben mit viel geringerem Querschnitt denselben Druck, als in Newcomen's Maschine ein weit größerer Dampfkolben, der nur dem Atmosphärendruck unterworfen war.

Der Gebrauch des Condensators war aber die wichtigste Erfindung Watt's. Die Expansion des Dampfes ward zwar ebenfalls schon angewendet, doch gewann man durch sie keine nützliche Wirkung. Sie diente nur, um das Gleichgewicht unter und über dem Kolben herzustellen. Dieser expandirte Dampf spielte daher dieselbe Rolle, welche bei Newcomen der volle (d. h. der mit dem Kessel in Verbindung stehende) Dampf gegen den Atmosphärendruck zu übernehmen hatte.

Um die Wichtigkeit des Condensators für den Nutzeffect einzusehen, bedarf es nur einer Erinnerung an die in §. 6 angegebenen Wärmeverluste, welche durch Condensation des Dampfes im Cylinder selbst entstanden. Ihrer Einfachheit und Billigkeit wegen werden allerdings die atmosphärischen Maschinen jetzt noch gefunden, jedoch nur in Kohlengruben oder an solchen Orten, wo die Steinkohle einen sehr geringen Werth hat. Denn der Aufwand an Brennmaterial ist bedeutend größer, als bei Watt's Condensations-Maschinen.

Diese letzteren werden auch in unserer Zeit noch so angetroffen, wie sie Watt construirte. Z. B. findet man, nach Delaunay *), noch in Paris zwei solcher Maschinen, die unter den Namen: Pompe à feu **) du Gros Caillou und pompe à feu de Chaillot bekannt sind. Sie dienen zur Hebung des Seine-Wassers für die städtischen Anstalten. In Bergwerken trifft man die Watt'sche

*) Mécan. 2. Part. p. 626.

**) „Pompe à feu" (Feuermaschine), das alte richtigere Wort für Dampfmaschine. Diese Maschine ist allgemeiner bekannt geworden durch Prony's interessanten „Rapport sur les machines à vapeur du Gros-Caillou à Paris" in den Annales des mines, T. XII. 1826.

einfach-wirkende Maschine noch häufig zur Bewegung von Schacht-Pumpen an. Die Disposition ist aber gewöhnlich anders, als wir sie angegeben. Die Maschine hat nämlich keinen Balancier, sondern ist direct wirkend, so daß der Kolben des Dampfcylinders und der der Schachtpumpe direct verbunden sind. Die Kolbenstange mündet im Cylinderboden, nicht im Cylinderdeckel aus und an ihr ist das Pumpengestänge unmittelbar befestigt. Der Dampfkolben muß also durch den vollen Dampf gehoben werden und fällt durch das Gewicht des Pumpengestänges nieder. Die Schachtpumpe muß folglich so eingerichtet sein, daß sie Wasser hebt, wenn der Dampfkolben im Cylinder aufwärts geschoben wird, denn nur beim Aufgang arbeitet die Maschine mit Kraft, vermöge des Volldrucks des Dampfes. Wenn der Kolben durch das Schachtgestänge niedergezogen wird, kann letzteres unmöglich Steifigkeit genug bieten und hinlänglich rückwirkende Festigkeit besitzen, um noch einen Widerstand überwinden zu können. Beim Niedergang darf also die Pumpe nur saugen, ja, es bedarf sogar noch eines Gegengewichtes, einer Hemmung, damit das lange Pumpengestänge nicht zu rasch durch sein eigenes bedeutendes Gewicht niederstürzt.

Wir begnügen uns mit diesen Andeutungen und werden auf Watt's einfach wirkende Dampfmaschine in ihrer ursprünglichen Gestalt nicht mehr zurückkommen. Doch haben wir Gelegenheit, das Princip in seiner größten Vollendung und Ausdehnung noch einmal im Capitel IV. zu betrachten, bei den sogenannten Cornwall-Maschinen, englische Schöpfmaschinen, welche durch ihre vollendete Ausführung und ihren vorzüglichen Nutzeffect einen besonderen Ruf erlangt haben und welche nichts Anderes sind, als verbesserte Watt'sche einfach wirkende Dampfmaschinen.

§. 12.

Bevor wir in der Charakteristik der Dampfmaschine weiter fortschreiten, ist es nöthig, auf die Expansion des Dampfes (siehe §. 3) zurückzukommen und zu untersuchen, in wiefern dieselbe fähig ist, eine bestimmte Arbeitsgröße zu entwickeln.

Wir nahmen bei Watt's einfach wirkender Maschine an, daß das Zulaßventil G (siehe Figur S. 265) geöffnet bleibe, so lange der Dampfkolben sich niederbewege. Während dieser Zeit strömt also der Dampf aus dem Kessel frei in den Cylinder und das unter einem bestimmten Druck siedende Wasser im Kessel liefert in jedem Augenblick ebenso viel frischen Dampf, als vorräthiger Dampf durch das Dampfrohr in dem Cylinder entweicht. Daraus folgt, daß die Kolbenfläche während ihrer Bewegung wenigstens annähernd unter gleichem und zwar demselben Drucke steht *), welcher im Kessel stattfindet. Wenn wir aber nunmehr annehmen, daß das Ventil G nicht während des ganzen Kolbenlaufes offen bleibe, sondern geschlossen werde, sobald der Kolben nur einen Theil seines Laufes zurückgelegt hat, so wird dadurch der, schon im Cylinder enthaltene Dampf von jeder Communication abgesperrt. Der Druck dieses Dampfes dauert fort, aber die Quantität desselben kann sich nicht vermehren. Während also der Kolben sich vermöge des

*) Die Untersuchungen von Pambour über die Abnahme des Druckes im Dampfcylinder, gehören nicht in diese vorläufige Betrachtung. Sie sind, wie überhaupt die genauen Gesetze der mechanischen Wirkung des Dampfes im Cap. II. enthalten.

Dampfdruckes noch fortbewegt, muß der Raum im Cylinder hinter dem Kolben immer größer werden. Da nun der Dampf fortwährend das Bestreben hat, sich auszudehnen, so wird er auch diesen Raum vollkommen ausfüllen. Der Dampf vergrößert also sein Volumen, vermindert seine Dichtigkeit und seinen Druck — d. h. er expandirt, und dies geschieht in demselben Maße, als der Kolben vorwärts geht. Der Dampf vermag auf diese Weise, bei zweckmäßiger Anordnung der Maschine, den Kolben bis an das Ende seines Laufes zu treiben.

So lange das Ventil G offen ist, arbeitet also die Maschine mit Volldruck, sobald die Communication mit dem Kessel unterbrochen ist, arbeitet die Maschine mit Expansion (détente) und in diesem Fall heißt das Ventil G das Expansionsventil.

Es ist leicht zu übersehen, welche Vortheile entstehen, wenn man den Kolben nur theilweise mit Volldruck und theilweise mit Expansion vorwärts treibt, anstatt zu seiner Bewegung durchweg vollen Dampf anzuwenden. Wir wollen z. B. annehmen, daß das Expansionsventil sich schließe, in dem Moment, wo der Kolben die Hälfte seines Laufes zurückgelegt hat. Man sagt dann, die Maschine arbeite mit halber Expansion. Es ist natürlich, daß in diesem Fall der Dampf nicht dieselbe Wirkung ausüben kann, als wenn er während des ganzen Kolbenlaufes mit Volldruck arbeitet. Aber die Menge des verbrauchten Dampfes ist in unserem Fall auch nur die Hälfte von der, im zweiten Fall verbrauchten Dampfmenge. Weil nun, unter übrigens gleichen Umständen, die Menge des verbrauchten Feuerungsmaterials proportional ist der producirten Dampfmenge, so ist durch die Anwendung der halben Expansion auch das Brennmaterial, wenn auch nicht vollkommen, doch annähernd auf die Hälfte reducirt. Es bedarf also nur einer Untersuchung, ob durch die Expansion der Verbrauch an Brennmaterial (auf den es zuletzt immer hinaus kommt, weil die Geldfrage nun einmal der Hebel der ganzen Industrie ist) verhältnißmäßig mehr abnimmt, als die dadurch erzielte Arbeit, so daß wir noch immer einen Ueberschuß an Arbeit zu Gunsten der Expansion gegen die Anwendung des Volldrucks erhalten. Dies ist in der That der Fall. Denn die Quantität der Arbeit, welche der Dampf in der ersten Hälfte des Kolbenschubes leistet, (so lange man also mit Volldruck arbeitet), ist genau die Hälfte von derjenigen Arbeit, welche der Dampf ausüben würde, wenn man ihn während des ganzen Kolbenlaufes mit Volldruck arbeiten ließ. Nun ist klar, daß, wenn der Dampf vom Moment der Expansion an, auch eine noch so geringe Arbeit liefert, diese Arbeit doch immer ein Ueberschuß ist, den man verlieren würde, wenn man die Expansion nicht benutzt. Und diese Arbeit ist gewonnen, ohne mehr Brennmaterial anzuwenden, als bis zum Anfang der Expansion für die Production des vollen Dampfes nöthig war.

Will man dieselbe Wirkungsgröße mit einer Expansionsmaschine gewinnen, welche durch eine Maschine hervorgebracht wird, die durchweg mit Volldruck arbeitet, so bedarf es dazu — vorausgesetzt, daß die Spannung im Kessel in beiden Fällen gleich groß ist — eines größeren Cylinders. Das Verhältniß, in welchem der Cylinder größer werden muß, wird durch den Grad der Expansion bestimmt, die man hervorbringen will.

Um den Cylinder auf diese Weise nicht zu sehr zu vergrößern, ist man später auf die Idee gekommen, 2 Dampfcylinder anzuwenden. Man stellt nämlich einen kleineren und größeren Cylinder neben einander auf und läßt den Dampf, nachdem

er im kleineren Cylinder mit Volldruck gearbeitet hat, in den größeren überströmen, wo er abgesondert vom Kessel noch den größten Theil der Arbeit abzugeben gezwungen ist, die in seinem Vermögen der Expansion liegt. Dies ist die Maschine von Woolf. Oder man stellt beide Cylinder über einander und leitet den vollen Dampf, nachdem er im kleineren Cylinder den Kolbenniedergang bewirkt hat, in den größeren, um durch seine Expansion den Kolbenaufgang zu bewirken. Dies ist die Maschine von Sims, welche sich von den Woolf'schen nur wenig unterscheidet.

Durch diese complicirteren Vorrichtungen geht aber ein Theil des durch die Expansion gewonnenen Nutzeffectes durch die vermehrten Verluste und Widerstände wieder verloren, so daß der Gewinn nicht so groß ist. Doch wenn auch immerhin dadurch noch ein Gewinn erzielt werden kann, so zieht man wegen der einfacheren Anordnung in vielen Fällen die Maschinen vor, welche mit Hochdruck und vollem Dampf, ohne Expansion arbeiten, besonders wenn man den geringen Verlust an Brennmaterial nicht in Anschlag zu bringen genöthigt ist, der allerdings bei Locomotiven und Dampfschiffen berücksichtigt werden muß. Doch wird bei Locomotiven die Expansion stets in demselben Cylinder bewirkt, in welchem zuerst der Dampf mit Volldruck arbeitete. Nur bei Dampfschiffen und stationären Maschinen wendet man zuweilen Maschinen mit besonderem Expansionscylinder an.

Um eine bestimmtere Anschauung von dem Gewinn an Wirkungsgröße zu erhalten, welchen die Expansion des Dampfes bietet, ist es nöthig, die Wirkungsart des Dampfes genau zu verfolgen und die nach und nach gewonnene Arbeit zu berechnen. Wir werden zu dem Zweck die Methode befolgen, welche Poncelet *) anwendete und die uns den Vortheil der graphischen Darstellung der gewonnenen Resultate bietet. Bei dieser Gelegenheit werden wir zugleich das Princip der noch übrigen Arten von Dampfmaschinen, der doppelt wirkenden Dampfmaschine mit Niederdruck, Hochdruck oder Expansion kennen lernen.

§. 13.

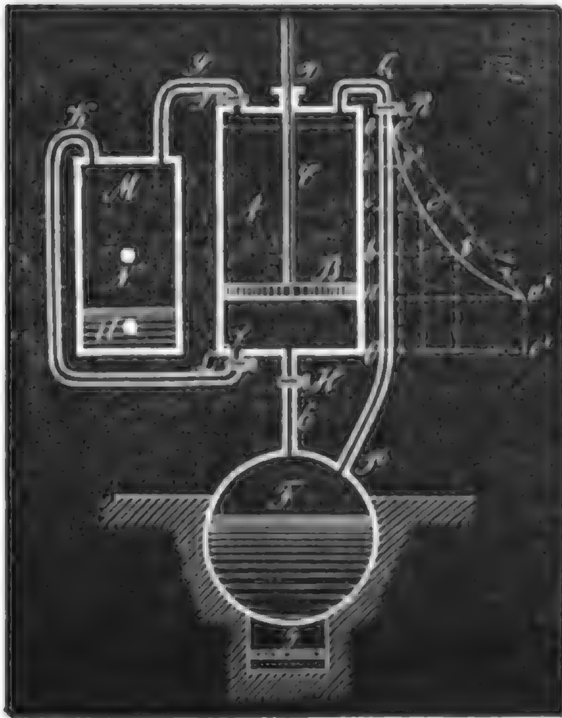
Die Berechnung der Arbeit, welche der expandirende Dampf in einem geeigneten Receptor producirt, geschieht auf dieselbe Weise, wie die Berechnung der Expansion der atmosphärischen Luft und der permanenten Gase **), — wenn man voraussetzt, daß der Dampf während der Expansion keine Abkühlung erleidet, daß er sich folglich nicht condensirt. Diese Voraussetzung darf man nicht in allen Fällen machen, doch ist sie für die theoretische Betrachtung der Dampfmaschine deshalb gestattet, weil in derselben principiell die Expansion niemals sehr weit getrieben wird, der Dampf den betreffenden Cylinder sehr schnell durchströmt und ebenso schnell durch frischen Dampf ersetzt wird. Dabei ist von den Vorsichtsmaßregeln, welche man anwendet, um die Abkühlung innerhalb des Cylinders zu vermeiden, noch ganz abgesehen, so daß man annehmen kann, daß obige Voraussetzung nur für den ersten Moment des Dampfeintrittes und für einen kalten Cylinder nicht

*) Mécan. industr. Vol. I. §§. 187—200. „Du travail produit par l'action mécanique de la vapeur d'eau.“

**) Siehe darüber u. A.: Poncelet, Mécan. industr. Vol. I. §§. 181—186.

gilt, bei normalem Gang der Maschine aber ohne großen Fehler angewendet werden kann. Diese Bemerkung möge den falschen Anwendungen des Princips und der Rechnung vorbeugen.

Beistehende Figur diene dazu, uns zunächst das Princip der einfach wirkenden Dampfmaschine für den Fall zu vergegenwärtigen, daß die Arbeit des expandirenden Dampfes benutzt werden soll.



A ist der Dampfcylinder, B der Kolben, C die Kolbenstange, welche dampfdicht durch den Cylinderdeckel geführt wird, vermittelst einer sogenannten Stopfbüchse, welche in D angedeutet ist. Durch die Röhre E communicirt der Dampfcylinder mit dem Dampferzeuger F, der mit der Feuerung G versehen ist. Durch den Hahn H kann die Communication zwischen Kessel und Cylinder beliebig hergestellt und unterbrochen werden.

Eine zweite Röhre JK, welche mit dem Hahn L versehen ist, verbindet den, unter dem Dampfkolben befindlichen Raum des Cylinders mit einem zweiten geschlossenen Cylinder M, dem Condensator. Vermittelst der Injectionsöffnung N wird kaltes Wasser in den Cylinder eingespritzt und somit der Dampf vernichtet, welcher beim Niedergang des Kolbens durch JK nach M entweicht.

Wenn wir vorläufig nur die beiden Röhren E und JK, die in den Cylinderboden münden, als vorhanden ansehen, so haben wir ein ungefähres Bild von der einfach wirkenden Dampfmaschine ohne Gleichgewichtsventil, oder der atmosphärischen Maschine mit abgesondertem Condensator.

Wir nehmen nun an, daß die Temperatur und der Druck im Kessel, so wie dessen Rauminhalt so beschaffen sei, daß bei der Oeffnung des Hahnes H eine Dampfspannung im Cylinder entsteht, welche mit dem constanten Druck von $3\frac{1}{2}$ Atmosphären auf den Kolben wirkt, daß also der Dampfdruck, den der Kolben von unten nach oben erleidet,

$$1^{k},033 \;.\; 3,5 = 3^{k},6155$$

per Quadratcentimeter betrage, so lange der Cylinder mit dem Kessel frei communiciren kann. Der Durchmesser des Kolbens sei $0^{m},8$, der Kolbenquerschnitt folglich 5026,56 Quadratcentimeter, so erleidet der Kolben einen Totaldruck von

$$5026,56 \;.\; 3,6155 = 18174^{k}$$

auf seiner unteren Fläche. Wenn wir voraussetzen, daß der Cylinderraum über dem Kolben luft- und dampfleer sei, daß folglich der Kolben keinen Gegendruck erleide, so kann der ganze Druck von 18174^{k} zu nützlicher Arbeit verwendet werden.

Um die Größe der Arbeit zu messen, bedarf es aber noch der Angabe des Weges, welchen der Kolben mit diesem Druck durchläuft. Wir wollen annehmen, daß der Kolben unter dem Einfluß des vollen Dampfdruckes die Höhe 0a durchlaufen habe, daß er also in derselben Position stehe, welche die Figur angiebt. Sobald diese Höhe 0a, welche $= 0^m,32$ sei, erreicht ist, werde der Hahn H geschlossen, so daß der Dampf von der Communication mit dem Kessel abgeschnitten ist.

Die Arbeit, die der Dampf bis zu diesem Augenblick mit Volldruck vollbracht hat, ist folglich:

$$18174^{kil.} \cdot 0^m,32 = 5816^{km}.$$

Nun beginnt er zu expandiren und treibt dadurch den Kolben noch um die Höhe ae aufwärts, bis an den Cylinderdeckel. Wir nehmen an, daß der Cylinderraum von der Höhe ae $3^1/_2$ Mal so groß ist, als der Raum von der Höhe 0a. Der Dampf muß sich also, wenn er den Kolben bis e aufwärts treiben will, um das $4^1/_2$fache seines ursprünglichen Volumens ausdehnen, da $0e = 4^1/_2 \cdot 0a$, d. h. $0e = 4,5 \cdot 0^m,32 = 1^m,44$ ist.

Poncelet wendet nun *), um die vom Dampf entwickelte totale Arbeit zu finden, die einfache Methode an, welche unter dem Namen der Simpson'schen Regel allgemein bekannt ist, deren Ausführung und Begründung nicht hierher gehört **).

Man theile die Länge $\overline{ae} = 1^m,44 - 0^m,32 = 1^m12$ in eine gerade Anzahl gleicher Theile, z. B. durch die Punkte b, c und d in 4 Theile, so daß

$$\overline{ab} = \overline{bc} = \overline{cd} = \overline{de} = \frac{1^m,12}{4} = 0^m,28$$

wird. Nennen wir nun den Totaldruck auf den Kolben im Punkte a, (den wir zu $18174^{kil.}$ gefunden haben) = P, so können wir mit Anwendung des Mariotti'schen Gesetzes (das wir als vollgültig vorausgesetzt haben) folgende Tabelle entwerfen:

Stellung des Kolbens	a	b	c	d	e
Durchlaufener Raum	32^{cm}	60^{cm}	88^{cm}	116^{cm}	144^{cm}
Entsprechender Druck	P	$\frac{32}{60}$ P	$\frac{32}{88}$ P	$\frac{32}{116}$ P	$\frac{32}{144}$ P
Druck in Kilogrammen	18174^k	$9692^k,8$	$6608^k,7$	$5013^k,5$	$4038^k,7$
Nummer des Druckes	1	2	3	4	5

Nach der Simpson'schen Regel finden wir den Totaldruck folgendermaßen:

Summe des Druckes	$1 + 5 =$	$18174^k + 4038^k,7 = 22212^k,7$
2 Mal den Druck	$3 =$	$2 \cdot 6608^k,7 = 13217,4$
4 Mal den Druck	$2 + 4 =$	$4(9692^k,8 + 5013^k,5) = 58825,2$
		Totaldruck $= 94255^k,3$

*) Poncelet, Mécanique industrielle. Vol. I. §§. 180, 188.

**) Siehe u. A.: Weißbach's Ingenieur. S. 254.

Der angenäherte Werth der durch die Expansion entwickelten Arbeit ist folglich

$$\frac{1}{3} \cdot 0^m,28 \cdot 94255^k,3 = 8797 \text{ Kilogrammeter.}$$

Die mit vollem Dampf entwickelte Arbeit betrug 5816^{km}, folglich ist die Totalarbeit des Dampfes

$$5816 + 8797 = 14613 \text{ Kilogrammeter.}$$

Graphisch stellen sich diese Resultate auf folgende Weise dar. Die Arbeitsgröße wird in jedem Falle durch das Product aus dem Druck in den Weg ausgedrückt. Man kann sie daher auch durch eine geometrische Figur darstellen, deren Inhalt aus dem Product dieser zwei bestimmten Größen besteht. Je nach dem Gesetz der Gleichförmigkeit oder Abnahme des Druckes für bestimmte Wege, wird die Figur, welche aus den Abscissen des Weges und den Ordinaten des Druckes besteht, eine andere Gestalt haben und wird theils durch gerade Linien, theils durch Curven begrenzt sein, wonach sich die Berechnung des Inhaltes für jeden einzelnen Fall richtet.

In unserm Beispiel haben wir zunächst einen constanten Druck $P = 18174^k$, der während des Weges $Oa = 0^m,32$ unverändert mit vollem Dampfe wirkt. Tragen wir also nach einem bestimmten Maßstab den Weg Oa parallel mit der Cylinderwand auf und errichten rechtwinklig auf O und a die Ordinaten OO_1 und aa_1, welche gleich groß sind und die Größe P, (als Einheit genommen) in einem beliebig verkleinerten Maßstab repräsentiren, so ist das Product $Oa \,.\, OO_1$, der Inhalt des Rechteckes, als Product aus Weg und Druck zugleich die Wirkungsgröße des vollen Dampfes.

Wir hatten dieselbe $= 18174^k \,.\, 0^m,32 = 5816^{km}$ gefunden.

Von dem Augenblick an, wo der Dampf aber expandirt, nimmt der Druck für gleich große Wege nach einem bestimmten Gesetz ab.

Die Wege, $\overline{ab}$, $\overline{bc}$, $\overline{cd}$, $\overline{de}$ sind einander gleich, doch werden die entsprechenden Abscissen $\overline{aa_1}$, $\overline{bb_1}$, $\overline{cc_1}$, $\overline{dd_1}$, $\overline{ee_1}$, welche die Größe des Druckes in den verschiedenen Zeitmomenten repräsentiren, kleiner. Ihre absolute Größe finden wir in obiger Tabelle zu

9692,8; 6608,7; 5013,5; 4038,7 Kilogrammen.

Die relative Größe ist, wenn wir P als Einheit nehmen,

$$\frac{1}{15} \cdot 8P;\ \frac{1}{22} \cdot 8P;\ \frac{1}{29} \cdot 8P;\ \frac{1}{36} \cdot 8P.$$

Werden diese Werthe in $\overline{bb_1}$, $\overline{cc_1}$, dd_1 und $\overline{ee_1}$ aufgetragen, so giebt der Inhalt der Figur $a\,e\,e_1\,d_1\,c_1\,b_1\,a_1$ den Werth der Wirkungsgröße an, welche der Dampf während seiner Expansion entwickelt.

Diesen Inhalt haben wir bereits nach der Simpson'schen Regel bestimmt und die durch Expansion entwickelte Arbeit zu 8797^{km} gefunden, welcher Werth zu dem Inhalt des Rechteckes $O\,a\,a_1\,O_1$ addirt, den Totalwerth der vom Dampf entwickelten Arbeit, d. h. den Inhalt der Figur $O\,e\,e_1\,d_1\,c_1\,b_1\,a_1\,O_1$ zu

14613^{km} angab.

Man kann diesen Inhalt auch noch auf andere Weise, durch hyperbolische Logarithmen bestimmen, worauf wir später zurückkommen werden.

Auf den Grad der Genauigkeit des verlangten Resultates kommt es lediglich an, in welcher Weise man den Inhalt dieser Figur bestimmen, d. h. ob man sich mit Annäherungswerthen begnügen will.

---

*) Cap. II. §. 22.

In der Praxis begnügt man sich gewöhnlich mit einem sehr groben Annäherungswerthe, der viel zu große Resultate giebt. Man substituirt nämlich statt der Curve $e_1\, d_1\, c_1\, b_1\, a_1$ eine gerade Linie $a_1\, e_1$, betrachtet also die Figur $a\, e\, e_1\, a_1$ als Trapez und setzt folglich voraus, daß die Abnahme des Dampfdruckes bei der Expansion für gleiche Wege gleich groß sei. Auf diese Weise hat man nur den Inhalt des Trapezes zu berechnen, um einen angenäherten Werth für die Arbeitsgröße des expandirenden Dampfes zu erhalten. Man berechnet das Product aus der halben Summe der beiden extremen Pressungen (d. h. aus dem mittleren Druck) in die Länge des, während der Expansion zurückgelegten Kolbenweges. Dies giebt in unserem Falle

$$\tfrac{1}{2}\,.\,a\,e\,(18174^k + 4038^k,7)$$
$$= 1^m,12\,.\,11106^k,35 = 12439^{km};$$

einen Werth, der gegen den, durch die Simpson'sche Regel gefundenen von 8797^{km} so bedeutend abweicht, daß man diese Berechnungsart unmöglich adoptiren kann. Diese Approximation ist um so weniger zulässig, weil man als Hauptregel aufstellen muß, daß man bei Schätzungen und Berechnungen, die Arbeitsgröße jedes Motors und des Dampfes ganz besonders, stets unter dem gefundenen Werth, niemals über denselben anzunehmen hat, um sich nicht der Gefahr auszusetzen, eine Arbeitsgröße zum Nachtheil des Betriebes, dem sie dienen soll, zu überschätzen.

Poncelet giebt eine Methode an, welche schon um Vieles zuverlässiger und für Abschätzungen zu empfehlen ist. Er bringt noch den Werth $e\, c_1$ in Rechnung und bildet dadurch 2 Trapeze $e\, e_1\, c_1\, c$ und $c\, c_1\, a_1\, a$ mit gleich langer Basis. Man theilt also den Kolbenweg während der Expansion in 2 gleiche Theile, $a\,c = c\,e$ und bestimmt nach dem Mariotti'schen Gesetz den Werth der Ordinaten $c\,c_1$ und $e\,e_1$. Dann ist

$$\tfrac{1}{3}\,.\,a\,c\,.\,(a\,a_1 + e\,e_1 + 4\,.\,c\,c_1)$$
$$= \tfrac{1}{3}\,.\,0^m,56\,(18174^k + 4038^k,7 + 4\,.\,6608^k,7) = 9081^{km}$$

der Annäherungswerth, welcher ungefähr $\tfrac{1}{30}$ größer ist, als der früher gefundene. Fügt man dazu die Arbeitsgröße des vollen Dampfes oder 5816^{km}, so erhält man 14897^{km} als totale Arbeit, eine Größe, welche nur um $\tfrac{1}{51}$ von dem früheren Werthe abweicht. Auch dieser letztere, nach der Simpson'schen Regel gefundene Werth, ist nur eine Approximation, welche aber sehr wenig von dem wahren Werth abweicht, wovon man sich überzeugen kann, wenn man die Wegintervalle $a\,b$, $b\,c$ ꝛc. abermals in 2 oder mehrere Theile theilt und den Inhalt nach derselben Regel berechnet.

§. 14.

Wir verdanken Watt nicht nur die erste Benutzung der Expansion des Dampfes und die Erfindung des abgesonderten Condensators, sondern wir verdanken ihm auch die Idee, den Aufgang und Niedergang des Kolbens lediglich durch den Dampf hervorbringen zu lassen, ohne Mithülfe von Balanciergewichten ꝛc. — eine Idee, welche das Charakteristische der doppelt wirkenden Dampfmaschine ist. Um vorläufig ein Bild zu erhalten von den Mitteln, deren man sich bedient, um den Zweck der doppelten Wirkung des Dampfes auf

den Kolben zu erreichen, bedarf es nur der Anbringung der Röhren PQ und S in unserer Figur (S. 270).

Das Rohr PQ, ein zweites Dampfrohr, stellt die Verbindung zwischen dem Kessel und dem Cylinderraum über dem Kolben her, indem es in den Cylinderdeckel mündet und durch den Hahn R geöffnet und geschlossen werden kann. Sobald der Dampfkolben dicht am Cylinderdeckel angekommen ist, wird der Hahn R geöffnet, ebenso der Hahn L in der Röhre JK, während die Hähne H und T geschlossen sind. Dadurch wird der Kolben mit frischem Dampf und Volldruck niederbewegt, während der, unter dem Kolben befindliche, expandirte Dampf, welcher seine Arbeit vollendet hat, durch das Rohr JK in den Condensator gedrückt wird. Das Rohr S mit dem Hahn T erfüllt denselben Zweck beim Aufgang des Kolbens, indem es den, über dem Kolben befindlichen expandirten Dampf des letzten Kolbenzuges in den Condensator abführt und vernichtet. Es werden also immer je 2 und 2 Hähne geöffnet und geschlossen, nämlich stets die entgegengesetzten Dampf- und Condensationshähne. Sobald der Kolben am Cylinderboden ankommt, wird H und T geöffnet und R und L geschlossen, wodurch der Kolben aufwärts steigt und so fort.

Dieses Kolbenspiel wird bei den ausgeführten Dampfmaschinen durch selbstthätiges Oeffnen und Schließen der Hähne und eine zweckmäßige Verbindung der Dampfwege bewirkt. Man bedient sich dazu ebenso einfacher als sinnreicher Vorrichtungen der verschiedensten Art, welche Steuerungen genannt werden und nur in dem Fall complicirt werden, wenn die Expansion des Dampfes variabel gemacht werden soll, d. h. wenn man durch selbstthätige Vorrichtungen den Abschluß des Dampfes nicht nur zu bestimmten, sondern, nach Bedürfniß, verschiedenen Zeitmomenten erfolgen lassen will. Wir werden im descriptiven Theil diese Vorrichtungen näher besprechen — für jetzt genügt die Bekanntschaft mit dem Princip der Maschine.

Dieselben Erscheinungen bei der Expansion des Dampfes, welche wir bei der einfach wirkenden Dampfmaschine während des Aufsteigens des Kolbens verfolgt haben, wiederholen sich bei der doppelt wirkenden Maschine auch während des Niederganges. Nur ist zu bemerken, daß diese Doppelwirkung des Dampfes in derselben Zeit erfolgt, als die einfache Wirkung bei der früheren Maschine, daß also in derselben Zeit die doppelte Dampfconsumtion stattfindet, aber auch die doppelte Arbeit geleistet wird. Im Ganzen kann man annehmen, daß die doppelt wirkenden Dampfmaschinen sich schneller bewegen, als die einfach wirkenden. Dies liegt theils darin, daß man die einfach wirkenden Maschinen fast niemals zur Erzeugung von rotirenden Bewegungen benutzt, sondern meist zur Bewegung der Pumpwerke, welche einen langsamen Gang erfordern. Theils liegt der Grund in der Bedingung, daß bei der einfach wirkenden Dampfmaschine der Kolbenniedergang oder Aufgang (je nach der Disposition) durch sein eigenes Gewicht ohne Beihülfe des Dampfdruckes erfolgen muß und der verbrauchte Dampf weniger schnell beseitigt werden kann.

Das Princip der doppelt wirkenden Dampfmaschine ist ein universelles. Es kann auf die verschiedenste Weise modificirt werden und ist das herrschende Princip der Gegenwart, obgleich die rotirenden Maschinen in neuerer Zeit wieder erhöhte Aufmerksamkeit erregen. Die Benutzung der Condensation und Expansion ist nicht mit dem Principe selbst verbunden, sondern nur eine Zugabe, welche man

nach Erforderniß weglassen kann. Wir haben den complicirtesten Fall zuerst betrachtet, können denselben aber auf die verschiedenste Weise abändern.

Wir können den Dampf hauptsächlich arbeiten lassen:

1) Mit Niederdruck und Condensation, ohne Expansion; mit einer Dampfspannung von nicht über 1 Atmosphäre, wohl aber darunter. Um dies bewirken zu können, ist der Condensator unentbehrlich, damit der Gegendruck auf den Kolben möglichst vermindert wird.

2) Mit Mitteldruck, Condensation und Expansion; mit einer ursprünglichen Spannung des Dampfes von $1^1/_2$ — 4 Atmosphären, welche aber durch die Expansion bedeutend vermindert wird, so daß die Condensation mit ziemlicher Schnelligkeit und ohne Schwierigkeit vor sich gehen kann.

3) Mit Hochdruck ohne Condensation, mit oder ohne Expansion und einer ursprünglichen Dampfspannung von 3—10 Atmosphären.

Die erste Art der doppelt wirkenden Maschinen führt ausschließlich den Namen der Watt'schen Maschine.

Die zweite Art nennt man, sobald sie mit 2 Cylindern versehen ist (siehe §. 12), nach dem Erfinder Woolf'sche Maschinen.

Die dritte Art, in der Praxis die gebräuchlichste, weil sie die einfachste ist, heißt vorzugsweise Hochdruckmaschine, auch in dem Fall, wenn man mit mittlerem Dampfdruck arbeitet, aber dann mit Weglassung der Condensation. Die ersten Constructeure, welche die Hochdruckmaschine mit doppelter Wirkung praktisch anwendeten, waren Trevithick und Vivian.

Das Charakteristische der Watt'schen Maschine ist also der Condensator und der Mangel der Expansion;

das der Woolf'schen Maschine sind zwei Cylinder;

das der Hochdruckmaschine der Mangel des Condensators und in vielen Fällen die Anwendung einer Expansion, welche man nach Bedürfniß weglassen, oder beliebig steigern, d. h. variabel machen kann.

Die Höhe des Dampfdruckes ist durchaus nicht allein maßgebend und man muß sich hüten, das Charakteristische darin zu suchen. Ueberhaupt dienen diese Eintheilungen nur zur Verständigung und Orientirung, ohne Anspruch auf allgemeine Giltigkeit. Nur die Watt'sche und Woolf'sche Maschine haben ihre streng festzuhaltende Einrichtung und folgen gewissen Gesetzen über die Höhe der Dampfspannung und den Grad der Expansion.

§. 15.

Wir betrachten zuerst die Watt'sche doppelt wirkende Dampfmaschine mit Niederdruck und Condensation, welche zugleich in der historischen Reihenfolge die älteste ist. Ihre Erfindung datirt vom Jahre 1769. In dieser Maschine arbeitet der volle Dampf, ohne Expansion, mit demselben constanten Druck, den er im Kessel erhalten hat. Diese Dampfspannung ist aber in vielen Fällen unter dem Atmosphärendruck und wird nie höher getrieben, als auf $1^1/_4$ Atmosphäre im Maximum. Die Anwendung eines Condensators ist daher unerläßliche Bedingung und bildet deshalb das Charakteristische der Watt'schen Maschine. Die Wichtigkeit der Erfindung des Condensators werden wir erst später in ihrem ganzen Umfange kennen lernen.

Die, sowohl beim Aufgang als beim Niedergang des Kolbens durch den

Volldruckdampf hervorgebrachte theoretische Wirkungsgröße, wird bei dieser Maschine einfach gemessen durch das Product aus der Länge des Kolbenweges in den Druck des Dampfes auf die Kolbenfläche, wie wir bereits in §. 13 entwickelt haben.

Es ist aber hier der passendste Ort, auf die hauptsächlichsten Widerstände hinzuweisen, welche im Dampfe selbst liegen und die theoretische Wirkungsgröße bedeutend verringern. Es ist zu dem Zweck nöthig, den Dampf zu verfolgen, welcher, nachdem er seine Arbeit hinter dem Kolben vollbracht hat, durch die entgegengesetzte Kolbenbewegung beseitigt werden muß. Dieser gebrauchte Dampf, welcher seinem Streben nach Expansion während seiner Arbeit im Cylinder nicht Folge leisten konnte, wird auf den Kolben einen gewissen Widerstand ausüben. Er muß mit Kraftaufwand aus dem Cylinder heraus in den Condensator getrieben werden. Dieser Kraftaufwand muß von dem frischen Dampf geleistet werden und geht für die nützliche Wirkung verloren, welche von dem Kolben durch die Kolbenstange auf die Maschine übertragen werden soll. Wenn also bei diesen Maschinen auch kein äußerer Atmosphärendruck zu überwinden ist, so erleidet der Kolben doch immerhin einen schädlichen Gegendruck, der allerdings weniger als 1 Atmosphäre beträgt, weil die Spannung des frischen Dampfes selbst nicht höher ist.

Es ist ferner zu berücksichtigen, daß der Dampf, wenn er auch in den Condensator getrieben ist, nicht augenblicklich vernichtet werden kann. Die Condensation verlangt eine bestimmte Zeit zu ihrer Ausführung und trotzdem wird nicht sämmtlicher Dampf condensirt. Die Abkühlung wird schon darum keine vollständige sein, weil ein Theil des zu vernichtenden Dampfes in den Dampfröhren und an allen den Stellen zurück bleibt, welche man unter dem Namen des schädlichen Raumes zusammenfaßt. Ferner kann ein vollkommen dampfleerer, d. h. druckloser Raum niemals hergestellt werden, so wenig als man einen vollständig luftleeren Raum zu erzeugen vermag. Bei jeder Temperatur wird noch eine, wenn auch kleine Dampfmenge sich erhalten, zu welcher sich eine bestimmte Luftmenge gesellt, die durch den Dampf aus dem Kessel in den Cylinder übergeführt wird. Das Wasser enthält zwischen seinen Moleculen stets eine gewisse Menge atmosphärischer Luft und Kohlensäure, welche durch das Sieden im Dampfkessel ausgetrieben und mit dem Dampf fortgerissen wird. Diese Gase verhindern schon an sich, daß im Condensator ein luftleerer Raum entstehen und der schädliche Gegendruck annullirt werden kann. Im Gegentheil summirt sich bei jedem Kolbenzug die Menge der Luft und des nicht condensirten Dampfes, so daß die Spannung fortwährend wachsen muß und bald ein Zeitpunkt eintreten würde, wo der Druck hinter dem Kolben dieselbe Höhe erreichte, wie der Druck vor dem Kolben, — ein Moment, in welchem die Maschine stehen bliebe.

Der Condensator allein genügt also nicht. Watt brachte daher mit demselben noch eine Pumpe in Verbindung, welche die Luftpumpe genannt wird, obgleich sie Luft-, Wasser- und Dampfpumpe zugleich ist. Sie mündet unter dem Wasserspiegel im Condensator bei U, ihr Kolben wird durch den Dampfkolben bewegt, hebt und senkt sich mit diesem zugleich und schafft aus dem Condensator die sich ansammelnde Menge von Luft, Gas, Wasser und Dampf fort.

Trotz dieser unumgänglich nöthigen Vorsicht bleibt noch immer genug Dampf und Luft in dem Condensator zurück, nur das sich fortwährend bildende und

ansammelnde Wasser wird vollständig beseitigt. Denn das Spiel der Maschine und also auch der Luftpumpe, geschieht viel zu schnell und die Evacuation kann nicht sorgfältig genug angewendet und überwacht werden, als daß die schädlichen Wirkungen nur überhaupt so weit beseitigt werden könnten, wie es möglich und wünschenswerth wäre. Darum restirt, selbst bei gut ausgeführten Maschinen, noch immer ein schädlicher Gegendruck von $^1/_{10}$ bis $^1/_5$ Atmosphären, welcher also auf die Gegenseite des Kolbens mit $0^k,1$ bis $0^k,2$ per Quadratcentimeter drückt. Man muß folglich die oben erwähnte Gesammtarbeit des Dampfes schon um so viel vermindern, als der Druck im Condensator verlangt, der im entgegengesetzten Sinne wirkt. Ueberdies wird die Spannung des aus dem Kessel einströmenden Dampfes noch durch die Abkühlung vermindert, welche in den Zuleitungsrohren und im Cylinder unvermeidlich ist, wodurch die nützliche Arbeit abermals verringert wird. Der Dampfkolben schließt auch nicht so dicht, daß nicht ein bestimmtes Dampfquantum zwischen ihm und der Cylinderwand entweicht, welches gar nicht zur nützlichen Arbeit gelangt. Diese Dampf- und Wärmeverluste werden in einem späteren Capitel noch ausführlich betrachtet und müssen bei der analytischen Theorie besonders in Rechnung gebracht werden.

Zu diesen Verlusten kommen noch die Verluste durch Reibung, welche bei der Construction jeder Maschine unvermeidlich sind. Je dichter der Kolben an der Cylinderwand schließt, also je besser er construirt ist, desto größer ist seine Reibung. Dasselbe gilt von dem Kolben der Luftpumpe, von der Steuerung (d. h. der Vorrichtung zum Oeffnen und Schließen der Dampfwege) 2c. Die Uebertragung der Bewegung des Dampfkolbens geschieht auch selten unmittelbar auf die zu bewegende Arbeitsmaschine. Man bedarf Zwischenglieder, Bewegungsmechanismen für die Luftpumpe 2c.; dazu sind Zapfen, Wellen, Schubstangen 2c. erforderlich, welche sämmtlich Reibung hervorbringen und in vielen Fällen auch durch Molecularerschütterungen und Stöße, lebendige Kraft consumiren.

Aus allen diesen Gründen wird die theoretische Wirkungsgröße der Watt'schen Dampfmaschine auf beinahe die Hälfte reducirt. Der wirkliche Nutzeffect einer Watt'schen Maschine, welche theoretisch eine Effectivleistung von 10—20 Pferdekraft geben sollte, beträgt nur $0,55 = {}^{11}/_{20}$ der oben berechneten Arbeit des Dampfes, nach Abzug der Summe von schädlicher Wirkungsgröße, welche durch den Gegendruck des Condensators ausgeübt wird. Bei stärkeren Maschinen von 30—50 theoretischen Pferdekräften sind die Widerstände und Verluste im Verhältniß kleiner, weil die bedeutendsten Widerstände auf den Umfang des Kolbens reducirt werden können, während der nützliche Dampfdruck auf die ganze Oberfläche des Kolbens wirkt.

Man kann daher annehmen, daß der Nutzeffect bei diesen stärkeren Maschinen 0,6 oder 60 Proc. von dem Effect beträgt, welchen die Rechnung ohne Berücksichtigung der Widerstände und Verluste ergeben würde. Bei schwachen Maschinen von 6 Pferdekraft und darunter, darf man nur 0,5 oder die Hälfte der berechneten Arbeit als Nutzeffect annehmen.

Diese summarisch angegebenen Zahlen sind die sogenannten Erfahrungscoefficienten*). Sie gründen sich auf eine ungefähre Vergleichung der Resultate der Rechnung mit denen der Erfahrung. Wir führen dieselben zur vorläufigen

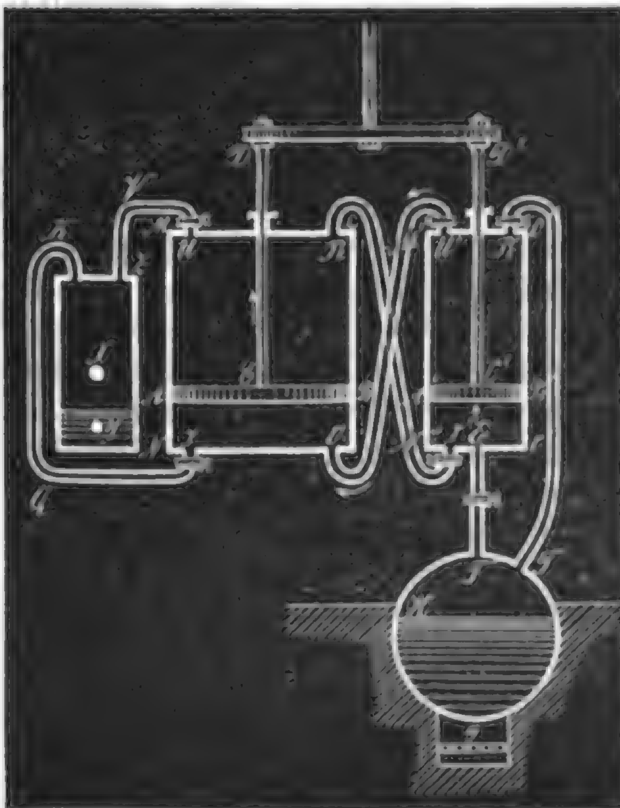
*) Siehe Cap. II. §. 23.

Orientirung an, um einen annähernden Maßstab zu erhalten für die Beurtheilung des Verhältnisses zwischen der theoretischen und nützlichen Wirkungsgröße, und einen Begriff zu geben von dem, was man den Nutzeffect der Maschinen nennt. Die Erfahrungscoefficienten können aber auch nur zur Abschätzung dienen, da sie bei strengen Rechnungen principiell zu verwerfen sind.

§. 16.

Wir gelangen nunmehr in unserer genetischen Entwickelung der verschiedenen Principe, zu der Dampfmaschine mit Mitteldruck, Condensation und Expansion, welche nach ihrem Erfinder Woolf'sche Maschine genannt wird. Wir haben schon bemerkt, daß Woolf seine Maschine durchgängig mit 2 Cylindern construirte, und daß diese Construction und die dadurch bedingte Anwendung der Expansion das Charakteristische dieser Maschine sei. A. Woolf veröffentlichte die Maschine im Jahre 1804 und gewann damit zuerst eine reelle Arbeitsgröße aus der Expansion des Dampfes. In Frankreich sind diese Maschinen weit mehr verbreitet, als bei uns. Sie wurden daselbst im Jahre 1815 von Edwards eingeführt und arbeiten durchschnittlich mit einem Dampfdruck von 2—4 Atmosphären im Kessel.

Beistehende Skizze giebt eine Idee von dem Princip der Maschine. Der Dampf tritt aus dem Kessel zuerst in den kleineren Cylinder, arbeitet daselbst mit Volldruck, ohne Expansion, schiebt den Kolben aufwärts und entweicht sodann in einen zweiten Cylinder, welcher ziemlich gleiche Höhe, aber gewöhnlich den doppelten Durchmesser hat. Dort schiebt derselbe Dampf den größeren Kolben lediglich durch seine Expansion niederwärts und entweicht dann erst in den Condensator. Beide Dampfkolben sind durch ein Querstück, in welches ihre Kolbenstangen befestigt sind, so verbunden, daß sie beide zugleich sich heben und senken müssen. Da beide Cylinder doppelt wirkend sind, so hat der Dampf 2 Mal mit Volldruck und 2 Mal mit Expansion zu arbeiten, wenn die Maschine ein volles Spiel, oder einen Doppelhub vollenden soll.



Bevor der Dampf aus dem Kessel in den ersten Cylinder eintritt, ließ Woolf denselben in ein abgesondertes Reservoir von Eisenblech einströmen, welches beide Dampfcylinder ziemlich eng umschließt und vollkommen einhüllt. Dieser Cylindermantel (chemise) hat den Zweck, den Dampf, welcher in den Cylindern arbeitet, vor jeder äußeren Abkühlung zu schützen und dadurch einen möglichst großen Nutzeffect, besonders

während der Expansion zu erhalten. Diese Einrichtung, welche allerdings den arbeitenden Dampf vor Wärmeverlust schützt, geschieht aber auf Kosten der Wärme des Dampfes, welche dazu verwendet wird. Man verliert also auf der einen Seite, was man auf der anderen gewinnt und diese Disposition von Woolf ist daher keine glückliche. Poncelet bemerkt sehr richtig, daß es viel vortheilhafter sei, zu diesem Zweck den Dampf zu benutzen, welcher seinen Dienst in den Cylindern bereits geleistet hat, und denselben, nachdem er aus dem 2. Cylinder ausgetreten ist, erst um den Cylindermantel herum zu führen, bevor er in den Condensator eintritt. Dadurch entsteht aber wieder der Nachtheil, daß der Dampf sich theils schon im Cylindermantel condensirt, theils einen beträchtlichern Gegendruck auf den 2. größeren Kolben ausübt.

Abgesehen von dem Cylindermantel, begiebt sich also der Dampf, welcher unter dem Kolben $A_1 B_1$ in den Cylinder $L_1 M_1 N_1 O_1$ eintrat und den Kolben aufwärts getrieben hat, durch die Röhre $J_1 L$ in den zweiten Cylinder LMNO, tritt dort über den Kolben AB und treibt denselben abwärts. Erst beim dritten Hub der Maschine wird dieser Dampf durch die Röhre UV in den Condensator getrieben, dort durch das Injectionswasser vernichtet und durch die Luftpumpe beseitigt, wie bei der Watt'schen Maschine. Umgekehrt agirt der Dampf, welcher durch die Röhre TR_1 über dem ersten Kolben $A_1 B_1$ eintritt. Er entweicht nach vollbrachtem Volldruck durch die Röhre $U_1 O$ in den zweiten Cylinder, expandirt dort unter dem Kolben AB und wird erst beim dritten Kolbenhub durch die Röhre JQK in den Condensator gedrückt.

Was in §. 15 über den Gegendruck auf den Kolben gesagt wurde, wiederholt sich hier in ähnlicher Weise. Der Dampfhahn R_1, der Expansionshahn J_1 und der Condensationshahn J seien z. B. geschlossen, während die Hähne E, U_1 und U geöffnet werden, in dem Moment, wo die Kolben $A_1 B_1$ und AB, nachdem sie zugleich am Cylinderboden angekommen sind, ihren aufsteigenden Lauf wieder beginnen sollen. Ueber dem Kolben $A_1 B_1$ befindet sich dann der, eben erst abgeschlossene Volldampf, während über dem Kolben AB sich Dampf befindet, welcher das Maximum seiner Expansion erreicht hat. Der Kolben $A_1 B_1$, welcher nunmehr auf seiner unteren Seite den Volldruck des frischen Dampfes erleidet, der durch die Röhre FE einströmt, muß den gebrauchten Dampf auf seiner oberen Fläche vor sich herschieben und den großen Cylinder damit anfüllen. Diese Anfüllung muß in demselben Maße geschehen, als das Entleeren des kleineren Cylinders, weil beide Kolben mit einander sich bewegen. Da nun der zweite Cylinder ungefähr einen doppelten Durchmesser, also einen ungefähr vierfach größeren Inhalt hat, so muß der Dampf in demselben sich nothwendigerweise expandiren und den Kolben AB aufwärts treiben. Der Druck, mit welchem das geschieht, wird in jedem Augenblick gemessen durch die Spannung des Dampfes, welcher die Räume $A_1 B_1 L_1 M_1$ und ONAB zugleich einnimmt. Dieser Rauminhalt vergrößert sich, je höher der Kolben AB steigt, folglich muß der Dampf in eben dem Maße stärker expandiren. Die Spannung desselben verbreitet sich nach dem Pascal'schen Princip*) gleichmäßig auf allen Punkten, vorausgesetzt, daß die Kolbengeschwindigkeit gering ist. Dieser Druck ist, nach dem Mariotti'schen Gesetz**),

---

*) Siehe d. Art. Druck und Statik.

**) Siehe d. Art. Druck und Statik.

immer dem Verhältniß zwischen den Dampfräumen proportional; nämlich zwischen dem Volumen, das der Dampf zuerst einnahm, indem er den ganzen Cylinder $L_1 M_1 N_1 O_1$ anfüllte, relativ zu dem Volumen, das er jetzt in den beiden Cylinderräumen $A_1 B_1 L_1 M_1 + ABON$ auf einmal einnehmen muß. Dabei erleidet der Kolben AB, welcher den früher gebrauchten expandirten Dampf vor sich her in den Condensator treiben muß, einen schädlichen Gegendruck, welcher im Mittel ungefähr $0^k,15$ per Quadratcentimeter beträgt. Dasselbe findet statt, nur im entgegengesetzten Sinn, wenn die bis jetzt geöffneten 3 Hähne geschlossen und die bis jetzt geschlossenen 3 Hähne geöffnet werden, in dem Moment, wo die beiden Kolben an den Cylinderdeckeln angekommen sind und nunmehr ihre absteigende Bewegung beginnen.

Obgleich die Bestimmung des Effectes in diesem Falle complicirter erscheint, so läßt sie sich doch auf die einfache Berechnung in §. 13 zurückführen. Wir können sogar dieselbe Rechnung hier unverändert wieder anwenden, sobald wir annehmen, daß einestheils die anfängliche Spannung und das ursprüngliche Volumen des aus dem Kessel in den ersten Cylinder eintretenden Dampfes in beiden Fällen dieselbe Größe sei; und daß anderntheils das Volumen, welches der Dampf im Maximum seiner Expansion einnimmt (also in dem Moment, wo er den ganzen zweiten Cylinder anfüllt), ebenfalls in beiden Fällen gleich groß sei. Dann muß auch*) die Quantität der total entwickelten Arbeit, welche vermittelst der 2 Kolbenstangen auf die Maschine übertragen wird, dieselbe sein, als das Arbeitsquantum, welches im früheren Beispiel durch eine Kolbenstange übertragen wurde **).

§. 17.

Die Berechnung des Nutzeffectes der Woolf'schen Maschine gestaltet sich ebenso einfach. Wir setzen voraus, daß die Dampfspannung im Kessel dieselbe sei, wie in dem Beispiel der Berechnung der Expansion, in der einfach wirkenden Dampfmaschine (§. 13). Ebenso soll das eintretende Dampfvolumen dasselbe sein, d. h. das Dampfvolumen, welches in den Cylinder A (§. 13) bis zu dem Moment eintrat, wo der Hahn H geschlossen wurde und die Expansion begann. Dieses Volumen wird jetzt durch den Gesammtinhalt des Cylinders $L_1 M_1 N_1 O_1$, oder durch den Weg bezeichnet, welchen die Oberfläche des Kolbens $A_1 B_1$ (siehe die Figur S. 278) während eines Kolbenhubes im kleinen Cylinder durchläuft. Wir setzen endlich voraus, daß das Volumen des Dampfes im Maximum der Expansion, wie im frühern Beispiel, das $4^1/_2$fache des ursprünglichen Volumens, also der Inhalt des großen Cylinders LMNO (§. 16) das $4^1/_2$fache vom Inhalt des Cylinders $L_1 M_1 N_1 O_1$ sei; oder daß das cylindrische Volumen, welches der große Kolben AB während seines Hubes durchläuft, das $4^1/_2$fache des Volumens sei, das der kleine Kolben $A_1 B_1$ beschreibt. Dann finden wir die Quantität der total entwickelten Arbeit des Dampfes, welche während eines halben Spieles oder eines einzelnen Kolbenhubes auf die

*) Siehe die Gesetze über die durch Expansion entwickelte Arbeit der Gase. Poncelet, mécan. industr. Vol. I. §. 186.

**) Poncelet beweist diese, hier nur angeführte Thatsache direct. Siehe die Schlußanmerkung zu §. 192 im Vol. I. der Mécan. industr.

Maschine übertragen werden kann, nach §. 13 im Werth von 14613^{km}. Da aber in §. 16 vorausgesetzt ist, daß der größere Kolben AB einen Gegendruck durch den Condensator erleide, welcher $0^{k},15$ per Quadratcentimeter Oberfläche beträgt, so ist die totale Arbeit um diejenige zu vermindern, welche im entgegengesetzten Sinne, während des ganzen Kolbenhubes wirkt. Setzen wir voraus, daß der größere Kolben AB, wie in §. 13, einen Durchmesser von $0^{m},8$, also eine Oberfläche $5026^{qcm},56$ habe und sein Weg $1^{m},44$ betrage, so ist die Arbeit, welche der Gegendruck entwickelt, dieselbe, welche der Condensator auf den Kolben in §. 13 ausübt, nämlich

$$0^{k},15 \;.\; 5026^{qcm},56 \;.\; 1^{m},44 = 1086^{km}.$$

Um diese Arbeitsgröße ist die Totalarbeit zu vermindern, so daß die zur Wirksamkeit kommende Arbeitsgröße des Dampfes $14613^{km} - 1086^{km} = 13527^{km}$ für einen Kolbenhub beträgt, also für einen Doppelhub oder ein Spiel der Maschine

$$2 \;.\; 13527^{km} = 27054^{km}.$$

Nehmen wir nun an, daß diese Dampfmaschine in der Minute 15 solcher Spiele ausführt, so ist die producirte Arbeitsgröße in der Secunde

$$\frac{15 \;.\; 27054^{km}}{60} = 6763^{km},5$$

was einer Arbeit von

$$\frac{6763,5}{75} = 90,18 \text{ Pferdekräften entspricht.}$$

Wenn wir nunmehr den Nutzeffect mit Hülfe der Erfahrungscoefficienten überschlagen wollen, müssen wir bedenken, daß die Woolf'sche Maschine eine gewisse Anzahl Maschinentheile mehr zählt, als die Watt'sche Maschine, daß sie vor Allen 2 Kolben hat und daß folglich die Reibung, die Dampfverluste 2c. sich beträchtlich vermehren. Deshalb darf man den Woolf'schen Maschinen von 20—40 Pferdekräften durchschnittlich nicht mehr als 50 Proc. Nutzeffect zugestehen, denen unter 20 Pferdekräften sogar nur 45 Proc.

Unsere Maschine, welche 90 Pferdekräfte entwickeln soll, wird ungefähr

$$90 \;.\; 0,56 = 50 \text{ Pferdekräfte}$$

Nutzeffect übertragen können.

Uebrigens ist die Unzulässigkeit und Verwerflichkeit der Erfahrungscoefficienten für wirkliche Rechnungen schon in §. 16 ausgesprochen worden. Auf die angedeutete Weise kann man nur in Fällen verfahren, wo es sich um die vorläufige Beurtheilung einer Maschine mit Expansion handelt, welche Einrichtung sie auch haben möge; so lange man nicht eine wirkliche Berechnung nach der analytischen Theorie vornehmen will, wie sie von Redtenbacher aufgestellt wurde, eine Theorie, die wir in einem abgesonderten Capitel ausführlich zu behandeln haben.

Man bedarf zur allgemeinen Beurtheilung der Arbeit des expandirenden Dampfes 4 directe Messungen, nämlich die Angabe:

1) des Werthes der absoluten Spannung des Dampfes im Kessel;

2) der Größe des Dampfvolumens, welches bei jedem Kolbenhub in den Cylinder eintritt;

3) des Expansionsverhältnisses oder des relativen Volumens, welches der Dampf im Maximum seiner Expansion einnimmt;

4) der Dampfspannung im Condensator, welche man approximativ nach §. 16 abschätzen kann, wenn directe Angaben mangeln.

Aus diesen 4 Daten kann man die theoretische Arbeit des Dampfes in den Cylindern vollständig bestimmen*). Die Widerstände und Verluste verlangen aber zu ihrer factischen Bestimmung sehr ausführliche Rechnungen, welche nicht hierher gehören.

§. 18.

Wir kommen in unserer vergleichenden Charakteristik nunmehr zu der letzten Art von doppelt wirkenden Dampfmaschinen, welche sowohl in der historischen Reihenfolge, als in ihrer Bedeutung für die Gegenwart, die letzte und bedeutendste Stelle einnimmt. Es ist die Hochdruckmaschine ohne Condensation. Die Einrichtung der Maschine, mit Cylinder, Kolben, Steuerung ꝛc. bleibt unverändert dieselbe, aber der Mangel des Condensators ist für diese Maschine so charakteristisch, daß jede Dampfmaschine, welche ohne Condensation arbeitet, eine Hochdruckmaschine genannt wird, selbst wenn die Dampfspannung nicht die der Mitteldruckmaschinen übersteigt. Die Hochdruckmaschinen arbeiten häufig nur mit 3—4 Atmosphären im Kessel, in andern Fällen mit 6—10 Atmosphären. Man ersieht daraus, daß die Höhe der Dampfspannung durchaus keinen Maßstab für die Eintheilung der Maschinen bieten kann.

So wichtig für die Entwickelung der Dampfmaschine Watt's Erfindung des Condensators war, so wichtig wurde für die ausgedehntere Anwendung der Dampfmaschine in der Industrie die Beseitigung des Condensators. Obgleich Leupold's Maschine (siehe §. 9) schon beinahe 100 Jahre früher dieses Princip angedeutet hatte, so consumirte doch Watt's Condensator und dessen einfach und doppelt wirkende Dampfmaschine das Interesse so sehr, daß erst im Jahre 1802 die Hochdruckmaschine eine selbstständige Bedeutung gewann, indem die Ingenieure Trevithick und Vivian sich die erste Hochdruckmaschine mit doppelter Wirkung zu dem Zweck patentiren ließen, dieselbe als ortsverändernde Maschine zur Bewegung von Wagen ꝛc. anzuwenden.

Der Watt'sche Condensator bietet nur in den Fällen reellen Nutzen, wo man sich ohne Schwierigkeit eine bedeutende Menge von kaltem Wasser fortwährend verschaffen kann. Denn die Condensation des Dampfes verlangt, sobald sie schnell vor sich gehen soll, ein großes Wasserquantum, welches bei jedem Kolbenzug zur Disposition sein muß. Sobald man also auf den Gedanken kam, die Dampfmaschine zu Ortsveränderungen zu benutzen, konnte von einem Condensator gar nicht mehr die Rede sein. Nur die Dampfschiffe machen davon eine Ausnahme, weil diesen allerdings jedes beliebige Wasserquantum zur Disposition steht.

Die Hochdruckmaschinen wurden in der That anfangs nur zu den Dampfwagen (Locomotiven) angewendet, weil die Nothwendigkeit darauf führte, den Dampf einfach dadurch zu beseitigen, daß man ihn in die Luft ausströmen ließ. Auch jetzt noch sind die Locomotiven lediglich Hochdruckmaschinen. Der Ameri-

*) Siehe Cap. II. §. 22.

kaner Oliver Evans war aber der erste, welcher die Hochdruckmaschine als stationäre Maschine zu allen den industriellen Zwecken verwendete, wozu früher die Watt'schen und Woolf'schen Maschinen ausschließlich verwendet wurden*).

Die Hochdruckmaschine hat allerdings mehrere Nachtheile und Unbequemlichkeiten, sobald man sie mit Volldruck arbeiten läßt. Sie verlangt eine große Quantität Dampf von hoher Spannung, dieser Dampf wird nicht vollständig benutzt, seine Wärme und Expansion geht verloren; die Dampfverluste vermehren sich rc. Sobald der Dampf frei in die atmosphärische Luft ausströmt, ist natürlich der Kolben fortwährend einem Gegendruck von mindestens 1 Atmosphäre ausgesetzt, d. h. von $1^k,033$ per Quadratcentimeter im Minimum. Daraus entsteht allerdings ein bedeutender Verlust an Arbeitsgröße des Dampfes, welcher ungefähr das 4fache von dem beträgt, den die Condensationsmaschinen durch den Gegendruck auf den Kolben erleiden.

Die Berechnung der Arbeit der Hochdruckmaschinen mit vollem Dampf ist sehr einfach. Der Gegendruck auf den Kolben ist constant 1—1¹/₄ Atmosphäre, der Dampfdruck im Kessel ist bekannt, der Weg und die Oberfläche des Kolbens, welcher die beiden sich entgegenarbeitenden Wirkungsgrößen bedingt, ist derselbe, die theoretische Arbeit des Dampfes ist also leicht gefunden, durch Subtraction der beiden Wirkungsgrößen. Da diese Maschinen weit einfacher sind, als die Condensationsmaschinen und im kleineren Raum eine größere Wirkung als jene ausüben, so ist auch der Nutzeffect der Maschine nicht geringer als bei den Niederdruckmaschinen und schwankt, wie bei diesen, zwischen 40 und 60 Proc.

Günstiger gestaltet sich das Verhältniß zum Vortheil der Hochdruckmaschinen, wenn man dieselben mit Expansion arbeiten läßt. (Siehe §. 12.) Sobald der Druck im Kessel eine bestimmte Höhe erreicht hat, kann man die Expansion des Dampfes im Cylinder soweit treiben, als es für die praktischen Verhältnisse nur überhaupt nöthig und wünschenswerth ist. Seitdem man nun Vorrichtungen gefunden hat, diese Expansion, durch selbstthätige Vorrichtungen, ohne Störung des Ganges der Maschine, variabel zu machen, gewann man ein Mittel, die Arbeitsgröße des Dampfes nach Bedürfniß, d. h. den zu überwindenden Widerständen gemäß, zu vergrößern und zu verringern. Durch die Erfindung der Expansion variabel trat die Hochdruckmaschine in das neueste Stadium ihrer Entwickelung und gewinnt in der Gegenwart immer mehr Bedeutung, obgleich sie die schwerfälliger gebauten und langsamer gehenden Niederdruckmaschinen niemals ganz verdrängen wird. In Deutschland und Amerika herrscht die Hochdruckmaschine vor, in England die Niederdruckmaschine, in Frankreich die Woolf'sche Mitteldruckmaschine. Jede Maschine hat ihre Vortheile und Nachtheile, also auch ihre Vertheidiger und Gegner. Im Grunde bestimmen stets der Zweck und die gegebenen Umstände die Wahl einer Dampfmaschine, denn keine derselben ist absolut gut oder absolut verwerflich**).

---

*) Evans construirte seine erste Hochdruckmaschine in Philadelphia zur Hebung des in der Stadt zu vertheilenden Wassers.

**) Ueber die „Vergleichung der verschiedenen Systeme von Dampfmaschinen" siehe u. A. Morin, aide mémoire. §. 181. u. ff. der deutschen Uebersetzung von Holzmann.

Unsere Aufgabe, eine allgemeine Charakteristik der Dampfmaschine aufzustellen, wäre noch nicht beendigt. Wir hätten noch die Frimot'sche und Sims'sche Maschine mit 2 Cylindern, die Perkins'sche Hochdruckmaschine mit Generator, die große Anzahl der Hochdruckmaschinen mit variabler Expansion, die rotirenden Maschinen oder Dampfturbinen ꝛc. zu betrachten. Dies ist aber weder der Zweck der gegenwärtigen Abhandlung überhaupt, noch dieses Capitels ganz besonders.

Die allgemeine Charakteristik sollte zur Orientirung für diejenigen dienen, welchen die Dampfmaschine überhaupt neu ist und welche weder die Zeit noch die Vorkenntnisse haben, sich mit der Construction und der analytischen Theorie weiter zu beschäftigen. Sie sollte für die, welche tiefer eingehen wollen in das Verständniß, eine Andeutung geben über die Punkte, auf welche das Hauptaugenmerk gerichtet werden muß; um sich nicht durch Nebendinge verwirren zu lassen und um Inhalt und Form der Dampfmaschine von einander trennen zu lernen. Eine vollständige Nomenclatur oder Beschreibung der Bewegungsmechanismen ꝛc. gehörte nicht in dieses einleitende Capitel und wird auch in den folgenden Capiteln nur in soweit gegeben werden, als es der Zweck erfordert.

Es ist endlich am Schluß dieser Einleitung mit Nachdruck zu wiederholen, daß wir bis jetzt nur die directe mechanische Wirkung des Dampfes in dem Zustand betrachteten, in welchem er den Kessel verläßt. Dabei setzten wir noch voraus, daß der Dampf in demselben Zustand auch in den Cylinder eintritt, eine Voraussetzung, die durch Pambour als falsch erwiesen wurde. Nur ein tieferes Eingehen in die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Dampfes kann zu einer Theorie der Dampfmaschine führen, welche, auf wissenschaftlicher Grundlage, den Mißbrauch der Erfahrungscoefficienten beseitigt.

Im gegenwärtigen Capitel haben wir im Allgemeinen die theoretische Betrachtungsweise verfolgt, wie sie vor Pambour üblich war. Im Folgenden werden wir Pambour's eigene Betrachtungsweise mittheilen, soweit es der Zweck erfordert. Wir haben also die physikalischen Eigenschaften des Dampfes zu betrachten, im Verhältniß zu der Wärmemenge (dem Brennstoff), welche er zu seiner Bildung verlangt und in der die eigentliche bewegende Kraft beruht. Dadurch werden wir die Modificationen genauer kennen lernen, welche der Dampf erleidet, bevor er in wirklich nützliche Arbeit umgesetzt werden kann.

Wir legen diesen Betrachtungen die Methode zu Grunde, welche in den Werken von Pambour, „Theorie der Dampfmaschine"*) und „theoretisch-praktisches Handbuch der Dampfwagen"**) (Uebers. von Schnuse. 1841); Poncelet, Lehrbuch der Anwendung der Mechanik auf Maschinen (Uebers. von Schnuse. 1848), und Redtenbacher, Resultate für den Maschinenbau (Mannheim 1848), angewendet wird.

---

*) Theorie des machines à vapeur. 2. édition. Paris 1844.
**) Traité théorique et pratique des machines locomotives.

II.

Gesetze der mechanischen Wirkung des Wasserdampfes.

§. 19. Bei der Berechnung der Dampfmaschinen kommen 4 physikalische Eigenschaften des Dampfes in Betracht:

1) Der Druck desselben, auch Spannkraft, Expansivkraft, Elasticität genannt. Er wird gemessen: entweder nach Atmosphären, oder nach der Höhe der Quecksilbersäule, oder praktisch dadurch, daß man denselben auf die Flächeneinheit der umgebenden Gefäßwände bezieht, als Druck in Kilogrammen auf 1 Quadratmeter. Man unterscheidet einen absoluten und einen wirksamen Druck oder Ueberdruck. Unter ersterem versteht man die wirkliche Spannkraft des Dampfes, oder den Totaldruck desselben; unter dem letzteren nur den Ueberschuß des Dampfdruckes über den Atmosphärendruck.

2) Die Temperatur des Dampfes, in Centigraden des Thermometers von Celsius angegeben. Sie steht in engster Beziehung zu dem Druck, so daß man den Druck auch durch die Temperatur messen kann.

3) Die Dichtigkeit des Dampfes. Dieselbe ist entweder eine absolute, oder relative. Die absolute Dichtigkeit ist das Gewicht einer Volumeinheit des Dampfes, also das Gewicht eines Cubikmeters, in Kilogrammen ausgedrückt. Die relative Dichtigkeit ist das specifische Gewicht des Dampfes, im Verhältniß zum Wassergewicht, letzteres = 1 gesetzt. Beides im Verhältniß zu dem bestimmten Druck, bei welchem sich der Dampf bildet.

4) Das Volumen des Wasserdampfes; und zwar entweder das absolute Volumen von 1 Kilogramm Dampf unter einem bestimmten Druck in Cubikmetern gemessen; oder das relative Volumen, auch specifisches Dampfvolumen genannt. Letzteres ist das Verhältniß zwischen dem Volumen eines gegebenen Gewichtes Dampf zu dem Volumen desselben Gewichtes Wasser, woraus er sich gebildet hat.

Im Artikel „Dampf" *) sind zwar diese Eigenschaften schon hinreichend betrachtet und ihr Verhältniß zu einander durch Tafeln erläutert worden. Da wir jedoch unseren Rechnungen stets Meter und Kilogramm als Einheit zu Grunde legen und in dem betreffenden Artikel eine vollständige Tabelle nach diesen Maßen nicht enthalten ist, so geben wir hier eine Tabelle, zum Gebrauch für unsere Rechnungen, welche diese physikalischen Verhältnisse für eine Dampfspannung von

0,007 bis 1000 Atmosphären

für gesättigten Wasserdampf in übersichtlicher Zusammenstellung enthält. Sie ist nach Redtenbacher's Vorgang (in seinen Resultaten §. 223) gebildet und mit Hülfe von Weißbach's, Pouillet's u. A. Tabellen vom Verfasser zusammengestellt und erweitert worden.

---

*) Bd. II. S. 86 u. ff.

Tabelle I.

Spannkraft, Temperatur und Dichte des gesättigten Wasserdampfes.

Spannkraft in Atmosphären	Spannkraft in Centimetern der Quecksilbersäule von 0° Temper.	t Temperatur nach Celsius	p Druck auf 1 Quadratmeter	Δ Gewicht eines Cubikmeters Dampf	V Volumen von 1 Kilogr. Dampf	δ Specifisches Gewicht des Dampfes	μ Relatives Dampf-Volumen
Atmosphären	Centimeter	Grad Celsius	Kilogrammen	Kilogrammen	Cubikmeter	Wasser bei 0° = 1	Wass. bei 0° = 1
0,007	0,5059	0	69	0,00540	182,323	0,00000540	182323
0,009	0,6947	5	94	0,00727	137,488	0,00000727	137488
0,013	0,9475	10	129	0,00974	102,670	0,00000974	102670
0,018	1,2837	15	170	0,01299	77,008	0,00001299	77008
0,024	1,7314	20	235	0,01718	58,224	0,00001718	58224
0,033	2,3090	25	314	0,02252	44,411	0,00002252	44411
0,043	3,0643	30	418	0,02938	34,041	0,00002938	34041
0,057	4,0404	35	549	0,03809	26,253	0,00003809	26253
0,074	5,2998	40	720	0,04916	20,343	0,00004916	20343
0,096	6,8751	45	934	0,06274	15,938	0,00006274	15938
0,123	8,8742	50	1205,6	0,0797	12,547	0,00007970	12546
0,157	11,371	55	1544,9	0,1005	9,951	0,00010054	9946
0,198	14,466	60	1965,3	0,1260	7,936	0,00012599	7937
0,248	18,271	65	2482,3	0,1568	6,377	0,00015668	6382
0,308	22,907	70	3112,1	0,1932	5,176	0,00019355	5167
0,381	28,507	75	3963,2	0,2433	4,110	0,00023789	4204
0,467	35,208	80	4783,4	0,2892	3,458	0,00028889	3462
0,570	43,171	85	5865,2	0,3497	2,859	0,00034916	2864
0,691	52,528	90	7136,4	0,4196	2,383	0,00041891	2387
0,834	63,427	95	8617,2	0,4998	2,001	0,00049886	2005
1,0	76,000	100	10330	0,5913	1,691	0,00058955	1696
1,5	114	112,2	15490	0,8583	1,165	0,0008563	1167,8
2,0	152	121,4	20660	1,1177	0,895	0,0011147	897,09
2,5	190	128,8	25820	1,3711	0,720	0,0013673	731,39
3,0	228	135,1	30990	1,6200	0,617	0,0016150	619,19
3,5	266	140,6	36150	1,8647	0,536	0,0018589	537,96
4,0	304	145,4	41320	2,1072	0,474	0,0020997	476,26
4,5	342	149,06	46480	2,3495	0,426	0,0023410	427,18
5,0	380	153,08	51650	2,5860	0,386	0,0025763	388,16
5,5	418	156,80	56810	2,8196	0,355	0,0028091	355,99
6,0	456	160,20	61980	3,0520	0,828	0,0030402	328,93
6,5	494	163,48	67140	3,2810	0,305	0,0032683	305,98
7,0	532	166,50	72310	3,5106	0,285	0,0034911	286,12
7,5	570	169,37	77470	3,7353	0,268	0,0037217	268,82

Spannkraft in Atmosphären	Spannkraft in Centimetern der Quecksilbersäule von 0° Temper.	t Temperatur nach Celsius	p Druck auf 1 Quadratmeter	Δ Gewicht eines Cubikmeters Dampf	V Volumen von 1 Kilogr. Dampf	δ Specifisches Gewicht des Dampfes	μ Relatives Dampf-Volumen
Atmosphären	Centimeter	Grad Celsius	Kilogrammen	Kilogrammen	Cubikmeter	Wasser bei 0° = 1	Wass. bei 0° = 1
8	608	172,10	82640	3,9784	0,251	0,0039434	253,59
9	684	177,10	92970	4,4057	0,227	0,0043865	227,98
10	760	181,60	103300	4,8477	0,206	0,0048226	207,36
11	836	186,03	113630	5,2807	0,189	0,0052557	190,27
12	912	190,00	123960	5,7100	0,175	0,0056834	175,96
13	988	193,70	134290	6,1367	0,163	0,006107	163,74
14	1064	197,19	144620	6,5595	0,152	0,006527	153,10
15	1140	200,48	154950	6,9790	0,143	0,006944	144,00
16	1216	203,60	165280	7,3957	0,135	0,007359	135,90
17	1292	206,57	175610	7,8087	0,128	0,007769	128,71
18	1368	209,40	185940	8,2196	0,122	0,008178	122,28
19	1444	212,10	196270	8,6284	0,116	0,008583	116,51
20	1520	214,70	206600	9,0336	0,111	0,008986	111,28
21	1596	217,20	216930	9,387	0,106	0,009387	106,53
22	1672	219,60	227260	9,785	0,102	0,009785	102,19
23	1748	221,90	237590	10,182	0,098	0,010182	98,21
24	1824	224,20	247920	10,575	0,094	0,010575	94,56
25	1900	226,30	258250	10,968	0,091	0,010968	91,17
30	2280	236,20	309900	12,903	0,077	0,012903	77,50
35	2660	244,85	361550	14,663	0,068	0,014663	68,20
40	3040	252,55	413200	16,644	0,060	0,016644	60,08
45	3420	259,52	464850	18,497	0,054	0,018497	54,06
50	3800	265,89	516500	20,306	0,049	0,020306	49,32
100	7600	311,36	1033000	37,417	0,026	0,037417	26,72
200	15200	363,58	2066000	68,635	0,014	0,068635	14,57
300	22800	397,65	3099000	97,671	0,0102	0,097671	10,23
400	30400	423,57	4132000	125,34	0,0079	0,12534	7,97
500	38000	444,70	5165000	152,02	0,0065	0,15202	6,57
600	45600	462,71	6198000	177,91	0,0056	0,17791	5,62
700	53200	478,45	7231000	203,18	0,0049	0,20318	4,92
800	60800	492,47	8264000	227,9	0,0043	0,2279	4,38
900	68400	505,16	9297000	252,2	0,0039	0,2522	3,96
1000	76000	516,76	10330000	276,0	0,0036	0,276	3,62

Zu dieser Tabelle ist Folgendes zu bemerken:

Die 6 ersten Columnen sind für den Werth von 1 bis 20 Atmosphären,

d. h. von 100° bis 214,7° Celsius, der Tabelle entnommen, welche Redtenbacher *) in seinen „Resultaten" giebt. Die Werthe von 0,007 bis 0,834 Atmosphären sind nach August's Formel berechnet **), die Dichtigkeitsverhältnisse nach Gay-Lussac ***). Die Werthe von 20 — 1000 Atmosphären sind nach Pouillet's Formeln und Tabellen zusammengestellt ****) und berechnet.

Die 1. Columne der Tabelle giebt die Spannkraft oder den Druck des Dampfes zunächst in Atmosphären an, d. h. der Druck unserer Atmosphäre ist als vergleichende Einheit den physikalischen Verhältnissen des Dampfes zu Grunde gelegt.

Die 2. Columne ist das Ergebniß der directen Beobachtung und drückt durch die Höhe der Quecksilbersäule ebenfalls die Spannkraft des Dampfes aus. Die Annahme ist dabei zu Grunde gelegt, daß unsere Atmosphäre bei einer Temperatur von 100° einer Quecksilbersäule von 76^{cm} das Gleichgewicht hält.

Die 4. Columne kann unmittelbar aus der 1. unter der Voraussetzung berechnet werden, daß unsere Atmosphäre mit 10330 Klgr. auf 1 Quadratmeter Oberfläche drückt. Wenn man die, auf diese Weise gefundenen Werthe durch 10000 dividirt, (wenn man also 4 Dezimalstellen abschneidet) so erhält man den entsprechenden Atmosphärendruck auf 1 Quadratcentimeter Oberfläche. Bei oberflächlichen Rechnungen kann man bequem annehmen, daß 1 Atmosphäre auf 1 Quadratcentimeter mit 1 Kilogramm drückt.

Die 3. Columne giebt für den entsprechenden Druck die zugehörige Temperatur an. Dieses Verhältniß ist zunächst durch Beobachtungen gefunden und sodann durch empirische Formeln *****) annähernd festgestellt worden. Redtenbacher †) giebt eine empirische Formel, welche das Verhältniß zwischen Temperatur und Spannkraft annähernd auf folgende Weise darstellt:

$$p = 10330\,(0{,}2847 + 0{,}0071531\,t)^5$$

dabei ist p die Spannkraft, d. h. der Druck des Dampfes in Klgr. auf einen Quadratmeter und t die Temperatur in Centigraden. Die darnach berechneten Werthe von p und t sind in der 3. und 4. Columne angegeben. Ihr Verhältniß läßt sich am deutlichsten übersehen, wenn man die Werthe graphisch aufträgt.

In umstehender Figur sind die Temperaturen t von 0° bis 200° als Abscissen aufgetragen, die entsprechenden Spannkräfte p von 0 bis 15 Atmosphären als Ordinaten. Während von 0° bis 100° die Spannung nur um 1 Atmosphäre wächst, so steigt dieselbe von 100° bis 200° um 14 Atmosphären. Dies giebt eine Curve von stark aufsteigender Krümmung, wie die Figur zeigt.

---

*) Resultate für Maschinenbau. §. 223. S. 180.

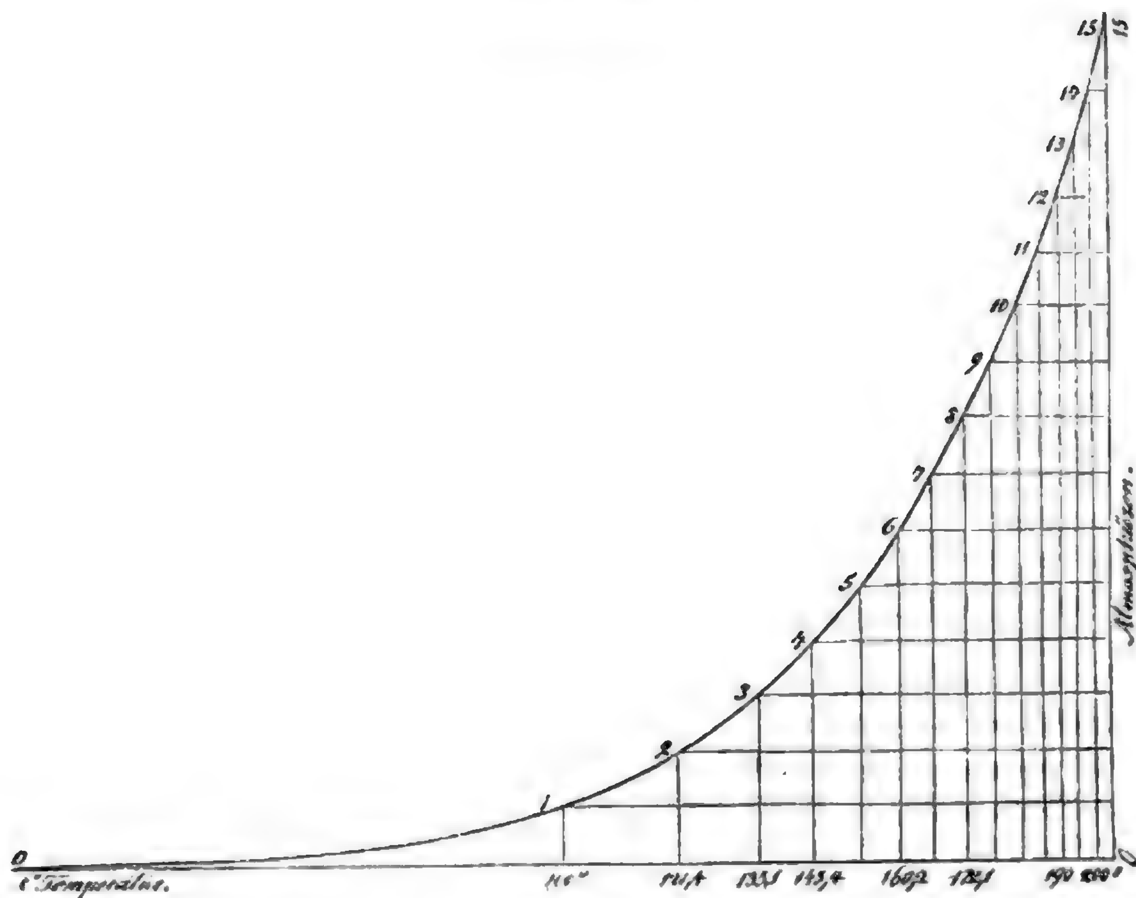
**) August-Fischer, Lehrbuch der mechan. Naturlehre. 4. Aufl. Bd. I. S. 596. — Siehe den Art. Dampf. S. 138. — Die Formel und die daraus berechnete Tabelle ist u. A. auch in Weißbach's Mechanik. Bd. II. §. 292 aufgenommen

***) Art. Dampf. S. 160—162. — Pouillet-Müller's Physik. Bd. II. S. 359—361.

****) Pouillet-Müller's Physik. Bd. II. S. 348—361. — Art. Dampf S. 128—130 und 160—162.

*****) Siehe die ausführlichen Angaben darüber im Art. Dampf S. 86 u. ff.

†) A. a. O.



Die 5. Columne giebt das G e w i c h t Δ von 1 Kubikmeter Dampf an. Das ist nichts Anderes als die a b s o l u t e D i c h t i g k e i t des Wasserdampfes. Man kann dieselbe theils durch Versuche *) finden, theils berechnen. Für die theoretische Betrachtung der Dampfmaschine ist es sehr wichtig, die D i c h t e des Wasserdampfes durch die S p a n n k r a f t desselben ausdrücken zu können. R e d t e n b a c h e r hat seinen Berechnungen stets dieses Verhältniß zu Grunde gelegt und bestimmt die Dichte nach folgender empirischen Formel **):

$$\Delta = \alpha + \beta\, p.$$

Dabei ist:

Δ die D i c h t e, d. h. das Gewicht von 1 Kbkm. Dampf,

p die S p a n n k r a f t, d. h. der Druck in Klgr. auf 1 Quadratmeter,

$\left.\begin{array}{l}\alpha = 0{,}06295 \\ \beta = 0{,}000051\end{array}\right\}$ für Dämpfe von 1—2 Atmosphären Spannkraft,

und

$\left.\begin{array}{l}\alpha = 0{,}1427 \\ \beta = 0{,}0000473\end{array}\right\}$ für Dämpfe von 2—5 Atmosphären Spannkraft.

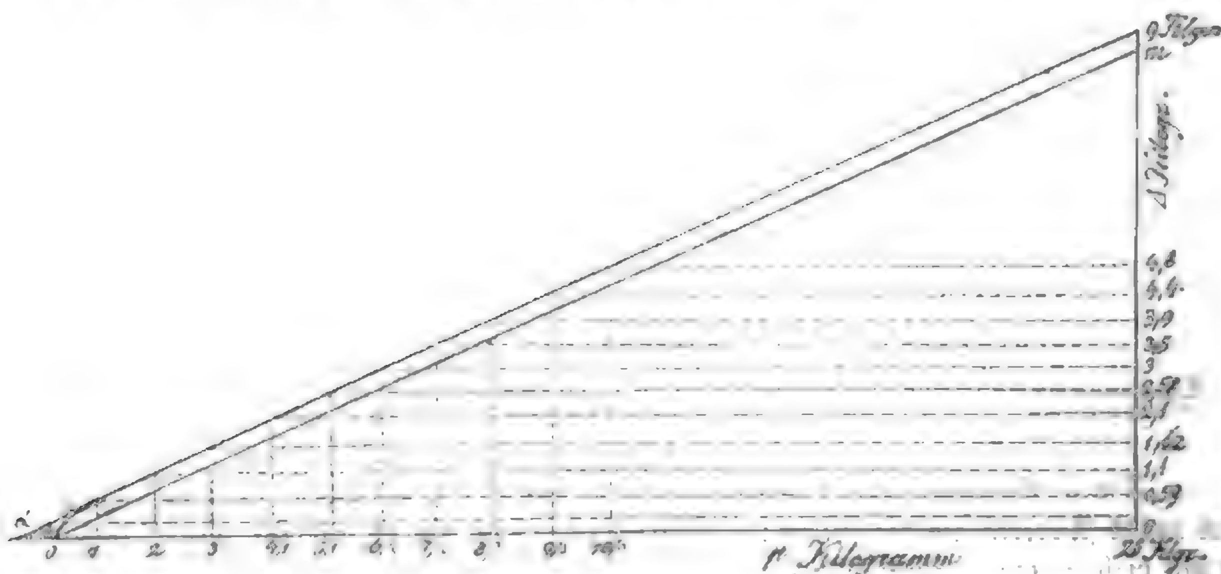
Außer der absoluten Dichtigkeit des Dampfes kann man auch noch die r e l a t i v e D i c h t i g k e i t oder das s p e c i f i s c h e G e w i c h t des Dampfes angeben, im Verhältniß zum Wasser = 1. Das Gewicht von 1 Kbkmeter Wasser ist

---

*) Art. D a m p f S. 155 u. ff.
**) Resultate. S. 179.

= 1000 Klgr. Dividirt man also die 5. Columne durch 1000, so giebt $\frac{\varDelta}{1000}$ die ungefähre Dichtigkeit des Wasserdampfes an. Demgemäß ist die 5. Columne nach Redtenbacher *) und die 7. Columne nach Gay-Lussac **) in ziemlich genauer Uebereinstimmung, obgleich die Werthe durch verschiedene Grundbetrachtungen gewonnen sind.

Das Verhältniß, welches Redtenbacher's Formel zwischen Spannkraft und Dichte aufstellt, läßt sich ebenfalls graphisch darstellen. Man trage die Spannkraft p als Abscissen und die entsprechenden Werthe von $\varDelta$ als Ordinaten auf, so erhält man für die Werthe von 0 bis 20 Atmosphären (d. h. für die Werthe von 0 bis 20,66 Kilogr. für p; und von 0 bis 9,0336 Kilgr. für $\varDelta$) folgende Figur.



Die Formel giebt also eine Curve, welche von der geraden Linie fast gar nicht abweicht. Wir erhalten eine Art Hyperbel, die zwar anfangs sehr rapid gekrümmt ist, aber eben so schnell in die Assymptote übergeht. Dies zeigt, daß das Verhältniß von p und $\varDelta$ für schwache Spannungen ein anderes ist, als für höhere Spannungen. Da man es aber bei der Anwendung des Gesetzes auf die Berechnung der Dampfmaschine niemals mit so niedrigen Spannungen zu thun hat, so kann für viele Zwecke das Gesetz des Verhältnisses zwischen p und $\varDelta$ einfach als das Mariotti'sche Gesetz betrachtet werden. Wir können also summarisch annehmen, daß die Dichte des Wasserdampfes dividirt durch seine Spannkraft immer dieselbe Größe sei, daß das Verhältniß also durch eine gerade Linie ausgedrückt werde und folglich unsere Figur ein Dreieck sei.

Unsere empirische Formel würde das vollkommene Mariotti'sche Gesetz ausdrücken, wenn sie die Form hätte $\varDelta = \beta$ p.

Die Linie om in der Figur deutet an, wie sich die Verhältnisse nach dieser Annahme gestalten würden. Da aber zu der Formel noch α dazu kommt, so muß die Figur mit einer Curve beginnen und es muß das, bei α schraffirte kleine Dreieck wegfallen.

---

*) Resultate. §. 223.

**) Pouillet-Müller's Physik. Bd. II. S. 359. — Art. Dampf. S. 160.

Endlich haben wir noch das Dampfvolumen zu betrachten und es wurde schon oben unterschieden zwischen dem absoluten und relativen Dampfvolumen. Letzteres ist eine Größe, welche Pambour *) in die Theorie der Dampfmaschinen eingeführt hat und consequent beibehält. Poncelet **) folgt seinem Beispiel, nur führt er den Namen specifisches Volumen dafür ein. Redtenbacher verwirft die Pambour'sche Betrachtungsweise wieder ***). Er folgt zwar im Ganzen der Pambour'schen Theorie, doch führt er in die Formeln statt des relativen Dampfvolumens die Dichte Δ des Dampfes ein. Er bemerkt sehr richtig, daß die Vorstellung von der Dichte des Dampfes einfacher, anschaulicher und praktischer sei, als die von dem relativen Volumen. Ueberdies lasse sich die Dichte des Dampfes durch Redtenbacher's äußerst einfache Formel wenigstens ebenso genau ausdrücken, als das relative Volumen durch die Pambour'sche Formel.

Wir werden bei der analytischen Theorie der Dampfmaschine uns durchgängig der Redtenbacher'schen Betrachtungsweise anschließen. Dennoch ist die Pambour'sche Größe für manche Zwecke vorzuziehen und sie wird daher im folgenden Paragraph genauer durchgeführt werden.

Das absolute Volumen des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen ist in der 6. Columne der Tabelle angegeben. Wir verstehen darunter das Volumen von 1 Klgr. Dampf, in Cubikmetern ausgedrückt. Es ist also nichts Anderes, als die Anzahl der Cubikmeter Dampf, welche aus 1 Kilogramm Wasser unter verschiedenem Druck producirt werden. Man erhält folglich diese 6. Columne ganz einfach, wenn man berechnet, wie oft Δ (d. h. das Gewicht von 1 Cubikmeter Dampf in Kilogr.) bei den verschiedenen Dampfspannungen in 1 Klgr. Wasserdampf enthalten ist. Δ ist z. B. für 1 Atmosphäre = 0,5913 Klgr., folglich ist das Volumen

$$V = \frac{1}{\Delta} = \frac{1}{0,5913} = 1,691 \text{ Cubikmeter};$$

für $\Delta = 9,0336$ Klgr. ist $V = \frac{1}{9,0336} = 0,111$ Cubikmeter und so fort.

Das relative Volumen, dessen Werthe endlich in der 8. Columne enthalten sind, ist ebenfalls ein reciproker Werth der Dichtigkeit des Dampfes. Das Gewicht eines Cubikmeters Wasser ist 1000 Kilogr., das eines Cubikmeters Dampf ist Δ, folglich giebt $\frac{1000}{\Delta}$ das relative Volumen des Dampfes an, für Wasser = 1. Man brauchte also nur die 6. Columne mit 1000 zu multipliciren, um das relative Volumen zu erhalten. Wir haben jedoch vorgezogen, zur Vergleichung der verschiedenen Resultate, in der 8. Columne die direct gefundenen Werthe von Gay-Lussac zu geben.

*) Pambour, Theorie der Dampfmaschinen S. 41 und Handbuch über Dampfwagen. S. 24.

**) Poncelet, Anwendung der Mechanik auf Maschinen. Bd. II. S. 232.

***) Redtenbacher, Resultate, Vorrede. S. 7.

Dieser von Pambour aufgestellte und scharf bestimmte Begriff ist festzuhalten. Wenn sich z. B. unter dem Druck von 1 Atmosphäre Dampf bildet, so kann derselbe vermöge seiner Expansion jedes beliebige große Gefäß anfüllen, aber sein relatives Volumen ist bei 1 Atmosphäre Druck immer 1696 Mal größer, als das Volumen des Wassers, woraus sich dieser Dampf gebildet hat. Es ist an sich schon klar, daß die Vergleichung der Volumina, welche dasselbe Gewicht zweier, unter verschiedenem Druck gebildeter Dampfarten einnimmt, auf die Vergleichung ihrer relativen Volumina zurückgeführt werden kann, weil sich beide Dämpfe aus demselben Gewichte oder Volumen Wasser gebildet haben, und folglich das Verhältniß zwischen den relativen Voluminibus dasselbe ist, als das zwischen den absoluten.

Wenn man also ein gegebenes Volumen Wasser mit S, das absolute Volumen des Dampfes, welcher sich unter einem gewissen Druck p daraus gebildet hat, mit V, und das unter einem anderen Druck p′ daraus gebildete absolute Volumen Dampf mit V′ bezeichnet, so wird das relative Volumen μ, des unter dem Drucke p gebildeten Dampfes ausgedrückt durch $\mu = \frac{V}{S}$ und das relative Volumen μ' des unter dem Druck p′ gebildeten Dampfes durch $\mu' = \frac{V'}{S}$ woraus folgt:

$$(1) \qquad \frac{\mu}{\mu'} = \frac{V}{V'}$$

d. h. die absoluten Volumina desselben Gewichtes Dampf verhalten sich wie die relativen Volumina.

§. 20. Die in der Tabelle I. des vorigen Paragraphen betrachteten physikalischen Verhältnisse beziehen sich sämmtlich auf gesättigten Wasserdampf im Maximum der Spannkraft und Dichte. Die Bedeutung dieser Voraussetzung ist bereits im Artikel „Dampf“ angedeutet worden *); ihre Wichtigkeit verlangt jedoch eine weitere Ausführung nach der Methode, welche Pambour **) in seinen Werken eingeführt hat ***).

Wir wissen bereits, daß man den Dampf betrachten kann, erstens in dem Augenblick, wo er sich im Kessel bildet und mit dem Wasser, woraus er entsteht, noch in Berührung ist; oder zweitens, nachdem er von dem Wasser und dem Kessel getrennt oder abgeschlossen ist. Im ersten Fall (§. 19) lehrt die Beobachtung, daß dieselbe Temperatur immer demselben Druck entspricht und umgekehrt, so daß man die Temperatur des Dampfes nicht erhöhen kann, ohne

*) Art. Dampf. S. 49 und 50.

**) Theorie der Dampfmaschine. Cap. II. S. 41—69.

***) Dieser Paragraph, so wie der vorhergehende, wären überflüssig, wenn Prof. O. Marbach den Artikel Dampf in anderer Weise behandelt hätte. Da aber in jenem Artikel auf die Verhältnisse, wie sie bei der Dampfmaschine vorkommen, keine Rücksicht genommen ist, waren wir gezwungen das Wesentlichste in §. 19 und §. 20 zusammenzufassen, um den Artikel Dampf zu ergänzen.

(Anm. d. Verf.)

daß seine Spannkraft oder seine Dichte zunimmt. In diesem Zustand befindet sich der Dampf für seine Temperatur im Maximum der Spannkraft und Dichte und man nennt ihn gesättigten Dampf. Zwischen der Temperatur, der Spannkraft und Dichte dieses Dampfes bestehen die in §. 19 angedeuteten Verhältnisse in unveränderlichem Zusammenhang. Dieser gesättigte, mit dem Kessel communicirende Dampf enthält aber nur so viel Wärme, als zu seinem Bestehen absolut nöthig ist. Denn, so wie diesem Dampf ein Theil seiner Wärme durch Abkühlung entzogen wird, verwandelt er sich augenblicklich theilweise in Wasser, d. h. er condensirt. Der gesättigte Wasserdampf enthält folglich bei einem Maximum der Spannkraft und Dichte das Minimum der Wärme, bei dem er überhaupt als Dampf noch existiren kann. Dieser Dampf ist endlich nicht compressibel, so lange er mit dem Kessel in Verbindung steht. Durch vermehrten Druck auf denselben kann wohl etwas Wasser producirt werden, aber die einmal im Dampf vorhandene Spannkraft wird dadurch nicht vermehrt.

Anders verhält es sich, wenn man den Dampf von dem Wasser, woraus er gebildet wurde, trennt, oder ihn von der Communication mit dem Kessel abschließt und ihn z. B. in einem abgesonderten Cylinder mit Kolben betrachtet. Wenn dieser Dampf erhitzt wird, so findet nunmehr kein Maximum der Dichte mehr statt, weil kein Wasser vorhanden ist, woraus sich eine neue Quantität Dampf entwickeln könnte und wodurch die, der Temperaturerhöhung entsprechende Zunahme der Dichtigkeit bewirkt wurde. Dieser abgeschlossene und überhitzte Wasserdampf verhält sich wie ein Gas *). Dies erklärt sich dadurch, daß dieser Dampf mehr Wärme enthält, als zu seiner Existenz nöthig ist. Man kann ihn sogar abkühlen, ohne seinen Zustand zu verändern, so lange man ihm nur seine Constitutionswärme läßt. Kühlt man ihn noch weiter ab, so verdichtet sich eine gewisse Quantität und geht in Wasser über. Es restirt aber dann ein Dampf, welcher sich in Temperatur und Spannkraft ebenso verhält, wie gesättigter Dampf. Der abgesperrte Dampf ist compressibel und expansibel. Comprimiren wir ihn in dem Zustand, in welchem er nur die Constitutionswärme besitzt, so wächst die Temperatur und die Spannkraft in demselben Verhältnisse, wie sie die Tabelle in §. 19 für gesättigten Wasserdampf angiebt. Wenn sich also im Kessel gesättigter Dampf bildet, so treten dieselben Erscheinungen ein, als wenn wir abgesperrten, aber nicht überhitzten Dampf comprimiren. Dies ist nur möglich, wenn Dampf von hoher und niederer Spannung einerlei Wärmemenge zu seiner Bildung bedarf **).

Die beiden Zustände des gesättigten und abgesperrten Dampfes müssen also streng von einander geschieden werden, denn darauf basirt die Einrichtung der Hochdruck-, der Condensations- und Expansionsmaschinen. Bei letzteren ist besonders darauf zu sehen, daß der Dampf auf alle Weise vor Abkühlung geschützt ist. Denn nur in diesem Falle behält der abgesperrte Dampf die Eigenschaften des Kesseldampfes, kann expandiren und condensirt nicht, so lange er auf der Constitutions-Temperatur erhalten wird.

---

*) Siehe Art. Dampf. S. 50.

**) Siehe die Gesetze der Dampfbildung in Cap. I. §. 8. S. 260 und S. 297.

Umgekehrt wird bei Condensationsmaschinen gerade dahin gewirkt, den Dampf durch Abkühlung zu vernichten und folglich seine Spannkraft möglichst zu vermindern.

Es wurde schon oben bemerkt, daß der abgesperrte und überhitzte Wasserdampf sich wie ein Gas verhält. Er muß also auch denselben Gesetzen folgen, wie die Gase. So lange der Dampf gesättigt war, hing seine Spannkraft nothwendig von seiner Temperatur ab. Aber bei dem abgesperrten Dampf findet dieser nothwendige Zusammenhang nicht mehr statt. Man kann die Temperatur dieses Dampfes verändern, indem man zugleich das Volumen sich ändern läßt, ohne die Spannkraft zu ändern und umgekehrt.

Für diesen Dampf gilt also das, von Arago und Dulong bis zu 27 Atmosphären bestätigte Mariotti'sche Gesetz, „daß, wenn man das Volumen eines gegebenen Gewichtes Gas oder Dampf ändert, ohne seine Temperatur zu ändern, sich die Spannkraft im umgekehrten Verhältnisse des Volumens ändert, oder im geraden Verhältniß der Dichtigkeit."

Sind also V und V' die Volumina desselben Gewichtes Dampf und p p' die zugehörigen Spannkräfte bei unveränderter Temperatur, so hat man

$$(2) \quad \frac{p}{p'} = \frac{V'}{V} = \frac{\mu'}{\mu},$$

nach §. 19, wenn μ und μ' die entsprechenden relativen Volumina des Dampfes bezeichnen. Diese Erscheinung kann bei dem gesättigten Dampfe offenbar nicht stattfinden, weil sie voraussetzt, daß die Temperatur während der Druckveränderung constant erhalten werden kann.

Für den abgesperrten und überhitzten Dampf muß aber auch das von Gay-Lussac gefundene Gesetz gelten: „daß, wenn die Temperatur eines gegebenen Gewichtes Gas oder Dampf sich ändert, während die Spannung dieselbe bleibt, die Volumenzunahme genau der Temperaturzunahme proportional ist." Diese Volumenzunahme beträgt für jeden Grad des hunderttheiligen Quecksilberthermometers 0,00365 von dem Volumen desselben Gewichtes Gas bei 0° Temperatur *).

Bezeichnen wir also mit V_0 das Volumen eines gegebenen Gewichtes Gas unter einem beliebigen Druck bei der Temperatur 0°, so ist das Volumen V, welches dasselbe Gas unter demselben Druck bei der, nach dem Quecksilberthermometer bestimmten Temperatur t hat, in französischem Maße

$$(3) \quad V = V_0 (1 + 0{,}00365\, t).$$

Man hat also zwischen den Voluminibus V und V' desselben Gewichtes Dampf bei derselben Spannung und bei den Temperaturen t und t' die Relation

---

*) Gay-Lussac bestimmte den Coefficienten zu 0,00375 für den Quecksilberthermometer zwischen 0° u. 100°. Rudberg fand als Ausdehnungscoefficient der Gase 0,003646, was Regnault bestätigte. Die Differenzen zwischen Luftthermometer und Quecksilberthermometer gleicht Poncelet dadurch aus, daß er 0,00365 als mittleren Coefficient auch für Temperaturen annimmt, welche über 100° hinaus liegen. — Siehe den Art. Dampf, Bd. II. S. 159 und Bd. I. S. 619.

$$(4) \quad \frac{V}{V'} = \frac{1 + 0{,}00365\, t}{1 + 0{,}00365\, t'} = \frac{274 + t}{274 + t'}$$

worin man nach §. 19 für das Verhältniß $\frac{V}{V'}$ der absoluten Volumina, auch das Verhältniß $\frac{\mu}{\mu'}$ der relativen Volumina setzen kann. Auch dieses Gesetz ist für gesättigten Wasserdampf nicht anwendbar, weil sich bei diesem die Spannkraft nothwendig und ganz von selbst mit der Temperatur ändert, während die Formel voraussetzt, daß bei der Temperaturänderung des Dampfes die Spannkraft dieselbe bleibt.

Aus der Verbindung des Mariotti'schen und Gay-Lussac'schen Gesetzes läßt sich aber eine Formel ableiten, welche die Volumenänderungen des Dampfes bestimmt, die durch eine gleichzeitige Veränderung der Temperatur und des Druckes bewirkt werden. Diese Formel ist auch auf den gesättigten Wasserdampf anwendbar, weil man nunmehr die entsprechenden Druckkräfte und Temperaturen einführen kann.

Pambour und Poncelet bestimmen aus der einfachen Combination der Formeln (2) und (4) das relative Dampfvolumen zu

$$(5) \quad \mu = \mu' \cdot \frac{p'}{p} \cdot \frac{274 + t}{274 + t'}$$

für Wasserdampf, welcher von dem Drucke p', der Temperatur t' und dem relativen Dampfvolumen μ' zu den entsprechenden Werthen von p und t für das relative Volumen μ übergeht.

Nach Gay-Lussac ist nun das relative Volumen des gesättigten Wasserdampfes bei 1 Atmosphäre, d. h. bei 100° C. u. 1,033 Klgr. Druck per Quadratcentimeter = 1696. Diese Werthe in die Formel eingesetzt, giebt:

$$\mu = 1696 \cdot \frac{1{,}033}{p} \cdot \frac{274 + t}{274 + 100} \text{ oder}$$

$$(6) \quad \left\{ \begin{aligned} \mu &= 4{,}6867 \cdot \frac{274 + t}{p} \\ p &= 4{,}6867 \cdot \frac{274 + t}{\mu}. \end{aligned} \right.$$

Man kann daraus das relative Dampfvolumen des unter einem gegebenen Drucke gebildeten Dampfes, und umgekehrt den Druck aus dem relativen Volumen berechnen, sobald man die Temperatur kennt, welche diesem Druck bei Dämpfen im Maximum der Dichtigkeit entspricht.

Pambour hat nach dieser Formel eine Tabelle der relativen Volumina zusammengestellt, welche wir hier wiedergeben, weil die Resultate von den Gay-Lussac'schen, in Tabelle I. §. 19 angegebenen, abweichen. Pambour hat als vergleichende Einheit den Druck p in Kilogrammen auf 1 Quadratcentimeter angenommen und die Tabelle von 0,1 bis 10 Atmosphären berechnet.

Tabelle II. Relatives Dampfvolumen nach Pambour.

Absoluter Druck in Kilogrammen für das Quadratcentimeter	Zugehörige Temperatur in Centesimalgraden	Relatives Volumen	Absoluter Druck in Kilogrammen für das Quadratcentimeter	Zugehörige Temperatur in Centesimalgraden	Relatives Volumen
0,1	45,9	14992	4,3	146,1	458
0,2	59,6	7817	4,4	147,0	448
0,3	68,4	5349	4,5	147,8	439
0,4	75,1	4090	4,6	148,7	430
0,5	80,5	3323	4,7	149,5	422
0,6	85,2	2806	4,8	150,3	414
0,7	89,2	2432	4,9	151,1	406
0,8	92,8	2149	5	151,8	399
0,9	94,4	1918	5,1	152,6	392
1	99,0	1748	5,2	153,3	385
1,1	101,8	1601	5,3	154,1	378
1,2	104,4	1477	5,4	154,8	371
1,3	106,7	1373	5,5	155,5	365
1,4	109,0	1282	5,6	156,2	359
1,5	111,1	1203	5,7	156,9	354
1,6	113,0	1133	5,8	157,6	348
1,7	114,9	1072	5,9	158,3	343
1,8	116,7	1017	6	158,9	338
1,9	118,4	967	6,1	159,6	333
2	120,1	923	6,2	160,3	328
2,1	121,7	882	6,3	160,9	323
2,2	123,2	845	6,4	161,5	318
2,3	124,6	811	6,5	162,1	314
2,4	126,1	780	6,6	162,8	310
2,5	127,4	752	6,7	163,4	306
2,6	128,7	726	6,8	164,0	302
2,7	130,0	701	6,9	164,6	298
2,8	131,2	678	7	165,2	294
2,9	132,4	657	7,1	165,7	290
3	133,6	637	7,2	166,3	287
3,1	134,7	618	7,3	166,9	283
3,2	135,8	600	7,4	167,5	280
3,3	136,9	583	7,5	168,0	277
3,4	137,9	568	7,6	168,6	273
3,5	138,9	553	7,7	169,1	270
3,6	139,9	539	7,8	169,7	267
3,7	140,9	525	7,9	170,2	264
3,8	141,8	513	8	170,7	261
3,9	142,8	501	8,5	173,3	247
4	143,7	489	9	175,7	234
4,1	144,6	478	9,5	178,1	223
4,2	145,3	468	10	180,3	213

Man kann das relative Dampfvolumen im Maximum seiner Dichte auch unmittelbar als eine Function der Spannkraft p allein erhalten, wenn man aus Formel (6) vermittelst der früher angegebenen Formeln für p u. t *) die Temperatur t eliminirt. Navier hat jedoch direct eine angenäherte Formel aufgestellt, welche μ unmittelbar als Function von p angiebt.

Diese Formel giebt aber nur für hohe Spannkräfte hinreichend genaue Resultate und ist für Spannungen unter 1 Atmosphäre nicht brauchbar. Deshalb hat Pambour zwei andere Formeln vorgeschlagen, ebenfalls von der Form der Navier'schen Formel $\mu = \frac{\alpha}{\beta + p}$ wobei p in Kilogrammen Druck auf den Quadratmeter ausgedrückt ist. Für niedrige Dampfspannungen (oder für Condensationsmaschinen, wie sich Pambour ausdrückt) gilt die Formel

$$\mu = \frac{20000000}{1200 + p}$$

und für hohe Dampfspannungen

$$\mu = \frac{21232000}{3020 + p}.$$

Weißbach **) giebt die Formel in Atmosphären zu 10330 Klgr. per Quadratmeter an und setzt für Dampfspannungen bis $3^1/_2$ Atmosphären

$$(7) \quad \mu = \frac{1935}{0{,}1161 + p}$$

und für Dampfspannungen über $3^1/_2$ Atmosphären

$$(8) \quad \mu = \frac{2054}{0{,}2922 + p}$$

Er hat darnach eine Tabelle berechnet ***), auf welche wir hier nur hinweisen wollen. Die Resultate weichen von den Gay-Lussac'schen und Pambour'schen ab, weil alle diese Formeln nur approximative Werthe geben können.

Wir haben noch das Ergebniß der Versuche zu erwähnen, welche über die Constitutionswärme und die Erhaltung des Maximums der Dichtigkeit des Dampfes von Parkes und Pambour angestellt wurden. Ueber die, zur Dampfbildung erforderliche Wärmemenge herrschte bis auf die neuere Zeit eine große Meinungsverschiedenheit. Dennoch ist die Bestimmung der Wärmemenge, welche nöthig ist, um gesättigten Wasserdampf zu produciren, die Hauptfrage nicht nur in wissenschaftlicher Hinsicht, sondern auch für die Praxis der Dampfmaschinen. Der Watt'schen Ansicht, daß die Constitutionswärme unabhängig sei von der Spannkraft des Dampfes, stand die von Southern entgegen, welcher behauptete, daß die erforderliche Wärmemenge für höhere Dampfspannungen größer sei, als für niedere ****).

Für die Praxis kann der Streit über die Constitutionswärme des Dampfes durch die Versuche von Parkes als geschlichtet angesehen werden. Derselbe hat

*) Art. Dampf. S. 135—140.

**) Weißbach, Mechanik. Bd. II. S. 543.

***) Weißbach a. a. O. S. 544. — Ingenieur. S. 535.

****) Das Ausführlichere darüber siehe im Art. Dampf. Bd. II. S. 52 u. ff.

durch seine ausgedehnten Versuche an Locomotivkesseln *) das Watt'sche Gesetz bestätigt gefunden, daß die Wärmemenge independent sei von der Spannung des Dampfes, daß folglich die Gesammtquantität der Wärme (d. h. die Summe aus der latenten und freien Wärme) eine constante Größe = 650° Celsius sei. Dies ist ein Erfahrungsresultat, dem sich auch Pambour und Redtenbacher angeschlossen haben. Möglicherweise ist es kein Naturgesetz, sondern nur eine Approximation, die aber für alle technischen Zwecke vollkommen ausreicht. Das Watt'sche Gesetz gilt übrigens nur für den gesättigten Wasserdampf.

Um also 1 Klgr. Wasser von 0° Temperatur in Dampf von irgend einer Spannkraft zu verwandeln, bedarf man 650 Wärmeeinheiten, äquivalent derjenigen Wärmemenge, die nothwendig ist, um 650 Klgr. Wasser eine Temperaturerhöhung von 1° C. zu ertheilen **). Zur Verwandlung von 1 Klgr. Wasser von t° Temperatur in Dampf von irgend einer Spannkraft sind folglich nur

$$(9) \quad 650 - t$$

Wärmeeinheiten nothwendig ***). Daraus läßt sich die Brennstoffmenge bestimmen, welche zur Erzeugung des Dampfes nöthig ist ****). Parkes hat auch hierüber directe Versuche angestellt. Er fand für eine bestimmte zu verdampfende Wassermenge den Kohlenverbrauch bei verschiedener Dampfspannung allerdings variabel. Die Schwankungen in den Resultaten zeigten darauf hin, daß bei hohen Dampfspannungen etwas mehr Brennstoff consumirt werde, als bei niedrigen Spannungen. — Doch sind die Schwankungen zu unbedeutend und unbestimmt, als daß das Watt'sche Gesetz dadurch eine Modification erleiden könnte und wir behalten dasselbe demnach unverändert bei.

Aus dem Watt'schen Gesetz folgt unmittelbar die Wichtigkeit der Vorwärmer für das Speisewasser der Kessel. Wenn man dafür sorgen kann, daß erwärmtes Wasser in den Dampfkessel gelangt, ohne daß diese Erwärmung durch besondere Heizungen bewirkt wird, so erzielt man eine bedeutende Ersparniß an Brennmaterial, weil um so weniger Wärmeeinheiten zur Verdampfung nöthig sind, je höher die Temperatur des Wassers bereits ist.

Wenn umgekehrt 1 Klgr. Dampf, der sich in einem geschlossenen Gefäß befindet, durch Einspritzen von Wasser, welches eine niedrige Temperatur t hat, so weit condensirt werden soll, daß die Temperatur des Gemenges T Grad wird, so braucht man dazu nach Redtenbacher *****) annähernd eine Wassermenge

$$(10) \quad x = \frac{650 - T}{T - t} \text{ Klgr.}$$

Denn um das condensirte Wasser von T° in Dampf zu verwandeln, bedürfte man 650 — T Wärmeeinheiten. Ebenso viel muß ihm jetzt entzogen

*) Parkes, chemische Abhandlungen und Versuche mit steter Beziehung auf die Künste und Manufakturen in Großbritannien. 1821. — Chemischer Katechismus. 13. Auflage 1838.

**) Siehe d. Art. Heizung und Wärme.

***) Redtenbacher, Resultate §. 224.

****) Siehe d. Art. Heizung.

*****) Resultate. §. 225. S. 181.

werden. Dies geschieht durch eine Wassermenge x, welche dadurch eine Temperaturerhöhung von

(T — t) Grad erleidet, so daß x (T — t) = 650 — T folglich

$$x = \frac{650 - T}{T - t} \text{ wird.}$$

Denkt man sich Wasser in einem hinlänglich starken Kessel einer immer höher steigenden Temperatur ausgesetzt, so muß nach dem Watt'schen Gesetz die latente Wärme des sich bildenden Dampfes immer geringer werden. Hat endlich der Dampf die Temperatur von 650° C. erreicht, so kann keine Wärme mehr absorbirt werden, sie wird sämmtlich frei und alle noch hinzukommende Wärme muß folglich durch das Thermometer angezeigt werden. Pambour schließt hieraus, daß der Dampf bei dieser Temperatur dieselbe Dichtigkeit habe, als das Wasser, weil zu dem Uebergange von dem einen Aggregatzustand zum andern keine neue Quantität Wärme mehr erforderlich sei *). Es muß bei 650° C. auch alles Wasser in Dampf verwandelt werden und das Watt'sche Gesetz ist auf denselben nicht mehr anwendbar. Denn von diesem Augenblick an wirkt alle, dem Kessel noch ferner zugetheilte Wärme, nicht mehr auf gesättigten, sondern auf überhitzten Wasserdampf, d. h. nicht mehr auf eine tropfbare Flüssigkeit, sondern auf ein Gas. Wäre das nicht der Fall, so könnte über 650° C. hinaus das Watt'sche Gesetz nur stattfinden, indem die latente Wärme eine negative Größe würde, was unmöglich ist.

Man nimmt gewöhnlich an, daß die Temperatur des abgesperrten Dampfes (wie er in den Dampfcylindern mit Expansion arbeitet) während aller Druckveränderungen unverändert bleibt und man schließt hieraus, daß die Dichtigkeit und das relative Volumen dieses abgesperrten Dampfes während seiner Wirkung auf den Kolben der Maschine, das Boyle'sche **) oder Mariotti'sche Gesetz befolge. Durch diese Annahme wurden die Formeln sehr vereinfacht ***), aber Pambour hat durch Versuche nachgewiesen, daß diese Voraussetzung der Erfahrung widerspricht. Wir müssen daher noch untersuchen, nach welchem Gesetz sich mit der Spannung dieses Dampfes seine Temperatur zugleich ändert. Da die Berechnung der Wirkung des Dampfes wesentlich von seinem Volumen abhängt, so müssen wir die Veränderungen zu bestimmen suchen, welche dieses Volumen in Folge der gleichzeitigen Temperatur- und Druckveränderung des Dampfes, während seiner Wirkung in der Maschine, erfährt. Schon die Annahme, die man gewöhnlich macht, daß der unter einem gewissen Druck im Kessel gebildete Dampf dieselbe Spannung behalte, wenn er als gesättigter oder voller

*) Cagniard Latour's Versuche bestätigen die Möglichkeit, Dampf von derselben Dichte als das Wasser herzustellen. (Vergl. darüber Gehler's Phys. Wörterb. Bd. II. S. 281.) Muncke bemerkt nur, daß die angegebenen Temperaturen und Spannungen unrichtig seien. Die Annahme, welcher sich nach Pouillet (Physik. Bd. II. S. 363) auch Weißbach (Mechanik. Bd. II. S. 545) anschließt, daß bei der Temperatur der Rothglühhitze die Dichtigkeit des Wasserdampfes der des Wassers selbst gleich sei, ist annähernd mit der von Pambour übereinstimmend, wenn man nach Pouillet's Messungen die Rothglühhitze zu 700° C. annimmt. Anm. d. Verf.

**) Ueber Boyle's Priorität siehe u. A. Gehler's Phys. Lexicon. Bd. IV. Elasticität der Gase. S. 1028 u. ff.

***) Siehe Cap. I. §. 13 und Cap. II. §. 10.

Dampf in den Cylinder tritt, ist unrichtig. Die Spannung dieses Dampfes nimmt im Cylinder schon vor der Absperrung ab — und nach der Absperrung treten noch andere Verhältnisse hinzu, welche die Spannung bedeutend vermindern.

Da nämlich die Gase sich niemals ausdehnen können, ohne abgekühlt zu werden, und da dem abgesperrten Dampfe im Cylinder und den Leitungsröhren wohl Wärme entzogen, aber nicht mitgetheilt wird, so kann streng genommen das Mariotti'sche Gesetz gar nicht zur Anwendung kommen. Man könnte diese Voraussetzung nur dann gestatten, wenn der Dampf Zeit genug hätte, um von dem, mit ihm in Berührung stehenden und hinreichend erhitzten Cylinder ꝛc. die erforderliche Wärme wieder aufzunehmen, damit seine Temperatur nach der Expansion wieder auf denselben Grad, wie zuvor, erhöht würde. Dies kann jedoch bei der Schnelligkeit der Bewegung des Dampfes in dem Cylinder ꝛc. und bei dem mangelhaften Schutz, welchen die Maschine gegen Abkühlung bietet, nicht angenommen werden.

Pambour hat sich durch sorgfältige Versuche mit Locomotiven überzeugt*), daß die Temperatur des Dampfes während seiner Wirkung in der Maschine mit seiner Spannkraft gleichzeitig abnimmt, und zwar so, daß der Dampf stets die seiner jedesmaligen Temperatur entsprechende größte Spannung oder Dichtigkeit hat. Wir geben hier einige dieser interessanten Versuchsreihen wieder, weil man daraus am deutlichsten ersieht, welchen bedeutenden Druck- und Temperaturverlust der Dampf in der Maschine erleidet.

Tabelle III.

Pambour's Versuche über die Veränderungen des Druckes und der Temperatur des Wasserdampfes während seiner Wirkung in den Maschinen.

Totaldruck des Dampfes in Pfunden für den Quadratzoll und im Augenblicke seiner Bildung im Kessel nach der Angabe des Luftmanometers und Thermometers	Zugehörige Temperatur in Graden des Fahrenheit'schen Thermometers	Totaldruck des Dampfes in Pfunden für den Quadratzoll im Augenblicke seines Austrittes aus der Maschine	Zugehörige Temperatur in Graden des Fahrenheit'schen Thermometers
59	293,0	16,5	218,0
60	294,1	16,5	218,0
61	294,9	16,5	218,0
63	297,0	16,5	218,0
62	295,9	17,5	221,1
61	294,9	18,5	224,1
61	294,9	19,5	226,9
59	293,0	19,5	226,9
59	293,0	20,25	229,0
59	293,0	20,5	229,6
59	293,0	20,25	229,0

*) Handbuch über Dampfwagen. S. 49 u. ff.

Totaldruck des Dampfes in Pfunden für den Quadratzoll und im Augenblicke seiner Bildung im Kessel nach der Angabe des Luftmanometers und Thermometers.	Zugehörige Temperatur in Graden des Fahrenheit'schen Thermometers	Totaldruck des Dampfes in Pfunden für den Quadratzoll im Augenblicke seines Austrittes aus der Maschine	Zugehörige Temperatur in Graden des Fahrenheit'schen Thermometers
46	277,1	18,0	222,6
49	281,0	18,5	224,1
54	287,2	20,0	228,3
56	289,6	21,0	231,0
51	283,6	21,5	232,3
51	283,6	21,25	231,6
53	286,0	20,5	229,6
52	284,8	19,0	225,6
51	283,6	19,0	225,6
52	284,8	19,0	225,6
51	283,6	19,0	225,6
51	283,6	18,5	224,1
53	286,0	18,5	224,1
54	287,2	18,5	224,1
57	290,7	18,5	224,1
58	291,9	18,5	224,1
62	295,9	17,25	220,3
64	298,1	17,75	221,8
62	295,9	18,0	222,6
61	294,9	18,75	224,8
64	298,1	21,50	232,3
60	294,1	21,5	232,3
60	294,1	20,75	230,3
61	294,9	20,75	230,3
62	295,9	21,25	231,6
63	207,0	21,75	232,9

Die Werthe der 1. u. 3. Columne waren übereinstimmend nach der Angabe des Manometers und Thermometers, ein Beweis, daß der Dampf im Maximum der, seiner Temperatur entsprechenden Spannkraft war.

Bei diesen Versuchen war der Dampf gegen äußere Abkühlung geschützt. Aber die Verhältnisse bleiben ungeändert, wenn auch eine Abkühlung stattfände. Denn in Folge derselben würde sich ein Theil des Dampfes condensiren, und der übrige, vom Kessel abgesperrte Dampf würde dadurch zu gesättigtem Wasserdampf. Er stände mit Wasser in Berührung und befände sich für seine Temperatur wieder im Maximum seiner Dichtigkeit. Dasselbe findet auch in dem Cylinder einer Maschine mit Condensation statt, da die Condensation immer eine unvollständige sein wird.

Wenn der Dampf endlich im Cylinder, statt abgekühlt, erhitzt werden könnte, so würde zunächst das, bei der Bildung des Dampfes mit demselben fortgeführte Wasser nur vermindert werden und Alles würde unverändert bleiben, bis dieses Wasser ganz in Dampf verwandelt wäre. Alsdann würde der reine Dampf durch fortwährende Mittheilung der Wärme des Cylinders allerdings zu überhitztem Dampf werden, d. h. er würde eine höhere Temperatur und Spannkraft annehmen. Dieser Fall kann aber nur bei den Cornwallmaschinen zuweilen vorkommen*). Wir betrachten daher nur den allgemeinen Fall, in welchem der Dampf während seiner Wirkung im Cylinder die seiner Temperatur entsprechende größte Dichtigkeit behält.

Nach der letzten Pambour'schen Formel (7) u. (8) konnte das relative Volumen dieses Dampfes, lediglich als Function der Spannung p durch eine Formel ausgedrückt werden, von der Form:

$$\mu = \frac{\alpha}{\beta + p}.$$

Wenn also ein bestimmtes Volumen Wasser = S unter dem Drucke p in Dampf verwandelt wird, dessen absolutes Volumen = V ist, so hat man (nach S. 292)

$$\mu = \frac{V}{S} = \frac{\alpha}{\beta + p}.$$

Ebenso findet man für das absolute Volumen V' des, aus demselben Wasserquantum unter dem Drucke p' gebildeten Dampfes,

$$\mu' = \frac{V'}{S} = \frac{\alpha}{\beta + p'}. \quad \text{Folglich ist}$$

$$(11) \quad \begin{cases} V = V' \cdot \dfrac{\beta + p'}{\beta + p} \quad \text{und} \\ p = \dfrac{V'}{V} (\beta + p') - \beta. \end{cases}$$

Das heißt: die absoluten Volumina des Dampfes stehen im umgekehrten Verhältnisse der, um eine gewisse Constante vermehrten Druckkräfte.

Man kann das Mariotti'sche Gesetz daraus sogleich herstellen, wenn man die Constante $\beta = 0$ setzt. Dann hat man

$$V = V' \cdot \frac{p'}{p} \quad \text{und} \quad p = \frac{V'}{V} \cdot p'$$

Dies wäre der Fall, wenn der Dampf, wie bei den Cornwallmaschinen, während seiner Wirkung in der Maschine bei derselben Temperatur erhalten werden könnte.

---

*) Holtzmann, in seiner Arbeit „über die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe", geht von dem Satze aus, daß das Aequivalent der Temperatur-Erhöhung eine Gewichtserhebung sei. Er berechnet nach diesem Grundsatze, wie viel Wärme bei allen Dampfmaschinen verloren geht und um wie viel vortheilhafter Hochdruckmaschinen gegen Niederdruckmaschinen arbeiten. Mayer (Mechan. Aequivalent der Wärme. S. 49) schließt daraus, daß diejenigen Expansionsmaschinen den größten Nutzeffect geben müßten, bei welchen der Dampf während der Expansion eine Wärmezufuhr erhält. — Die verschiedensten Voraussetzungen führen also zu demselben Resultate, dem man aber eine praktische Geltung nur unter gewissen Bedingungen zugestehen kann. Anmerk. d. Verf.

Pambour zeigt durch Beispiele, daß die Resultate in der Berechnung des Effectes der Dampfmaschinen bei Vernachlässigung seines Princips der Erhaltung des Maximums der Dichtigkeit des Dampfes bis um $^1/_5$ des wahren Werthes zu groß ausfallen können. Dieser Fehler kann aber fast ganz vermieden werden, wenn man sich der von Pambour aufgestellten Formel

$$\mu = \frac{\alpha}{\beta + p}$$

bedient, bei welcher α und β die S. 297 angegebenen Werthe haben.

§. 21. Nachdem wir in §. 19 und 20 die Betrachtung der physikalischen Eigenschaften des Dampfes theils recapitulirt, theils ergänzt haben, geben wir zur Betrachtung der mechanischen Arbeit über, welche der Dampf entwickeln kann. Es ist schon früher (§. 15 und 17) darauf hingewiesen worden, daß man dabei auf doppelte Weise verfahren kann. Zwei Theorien stehen sich gegenüber, welche beide angewendet werden, weshalb man sich entscheiden muß, welcher man folgen will. Die eine, ältere Methode ist die Poncelet-Morin'sche Coefficiententheorie, dieselbe, welche wir im Cap. I. bei unseren vorläufigen Betrachtungen anwendeten. Sie ist die unrichtigere, aber einfachere und wird deshalb noch jetzt in der Praxis angewendet und selbst in Lehrbüchern durchgeführt *).

Das Charakteristische dieser Theorie ist, daß man von Voraussetzungen ausgeht, welche in der Wirklichkeit nicht stattfinden, sondern nur als ideale Fälle angenommen werden. Schon in der Betrachtung der physikalischen Eigenschaften des Dampfes wendet man das, von Pambour als falsch erwiesene Mariotti'sche Gesetz an **), setzt also voraus, daß die Temperatur des Dampfes während der Expansion unverändert bleibt. Man betrachtet ferner den Druck des Dampfes im Kessel als constant, die Spannung des vollen Dampfes im Cylinder ebenfalls constant und dem Kesseldruck gleich ɛc. Um diese falschen Voraussetzungen zu corrigiren und den Widerständen Rechnung zu tragen, bestimmt man die Effectivleistung der Dampfmaschinen sodann annähernd durch Correctionsformeln oder nur durch Erfahrungscoefficienten, welche die Formeln für die theoretische Leistung modificiren. Diesen Weg der Berechnung haben Poncelet ***) und Morin ****) eingeschlagen und durch Versuche festzustellen gesucht.

Pambour *****) ist der Schöpfer der neueren Theorie, welche auf den umfassendsten und scharfsinnigsten Versuchen basirt ist und eine tiefe Einsicht in die dynamischen Wirkungen des Dampfes und der Maschinen zeugt. Er konnte mit

---

*) N. A. mit Zusätzen verbessert und erweitert v. Weißbach, in seiner Mechanik. Bd. II. S. 653—693.

**) Morin suchte auf experimentellem Wege nachzuweisen, daß die Zugrundlegung des Mariotti'schen Gesetzes, bei Entwickelung seiner Theorie der Dampfmaschine, eine vollkommen genügende Uebereinstimmung mit der Erfahrung gewähre. (Leçons de mécan. pratique. 3. partie.)

***) In seinen Werken: Traité de mécanique industrielle 1844, und Traité de mécanique appliquée aux machines 1845. (Deutsch von Schnuse 1848.)

****) Aide-mémoire de mécanique pratique (Deutsch von Holtzmann) und Leçons de mécanique pratique. Paris 1846.

*****) Théorie des machines à vapeur. 2. édit. Paris 1844. und Traité des machines Locomotives. 2. édit. Beide übersetzt von Schnuse. (Siehe besonders die Introductions.)

Recht sagen, daß eine analytische Relation, durch welche sich das allgemeine Problem der Dampfmaschine lösen ließ, d. h. eine Relation, woraus man bei gegebenen Dimensionen einer Maschine a priori ihren Effect, oder umgekehrt, ihre Dimensionen für einen bestimmten Effect ableiten könnte, vor ihm noch nicht aufgefunden war. Die Dampfmaschinenlehre hat durch Pambour erst eine wirkliche Theorie erhalten und wir werden dieselbe in Cap. V. und VI. ausführlich besprechen. Es sei hier nur vorläufig bemerkt, daß Pambour, außer daß er bei seiner Theorie die falschen physikalischen Voraussetzungen vermied, auch den Druck, den der Dampfkolben ausübt, der, auf die Kolbenfläche reducirten Last der Maschine gleich setzt. Daraus entwickelte er seine Regeln für den Beharrungszustand der Maschine und erhob somit die ganze Theorie erst zu einer dynamischen. Pambour suchte jedoch die Widerstände, die in der Dampfmaschine selbst liegen, noch durch Erfahrungscoefficienten zu bestimmen, schloß sich also hierin der Poncelet-Morin'schen Methode an. Redtenbacher aber beseitigte auch noch diesen Mangel der Pambour'schen Theorie. Er übernahm die ebenso verdienstliche als schwierige Arbeit, die Widerstände wirklich zu berechnen, und, durch Formeln ausgedrückt, direct in die Berechnung einzuführen. Diese Verbesserungen Redtenbacher's werden wir in der analytischen Theorie der Dampfmaschine (Cap. VII.) wiederzugeben suchen, soweit sie bis jetzt bekannt sind*).

Da aber die Poncelet-Morin'sche Methode, der sich so namhafte Schriftsteller wie Tredgold, Coriolis, Prechtl, Weißbach ꝛc. angeschlossen haben, noch immer als eine bestehende Theorie Geltung hat, so müssen wir dieselbe ihren Grundzügen nach erwähnen und wir geben sie im Folgenden, als Einleitung zur Pambour'schen Theorie. Die daraus abgeleiteten Resultate mögen unter andern dazu dienen, das in §. 8 bereits erwähnte 4. Gesetz zu beleuchten, daß: dieselbe, in Dampf verwandelte Wassermenge annähernd dieselbe mechanische Wirkung hervorbringe — welches Gesetz allein noch der näheren Untersuchung bedarf. Die Voraussetzungen sind dabei, wie schon erwähnt, ideale. Wir nehmen also das Mariotti'sche Gesetz als vollgültig, die Dichtigkeit und Temperatur als constant an; alle Widerstände, Dampf- und Wärmeverluste, und die dynamischen Gesetze des Beharrungszustandes werden nicht in Rechnung gezogen.

Auf diese Art läßt sich die Untersuchung der theoretischen mechanischen Wirkung des Dampfes auf die Frage zurückführen, wie viele Pfund Gewicht von einem Pfund Dampf einen Fuß hoch gehoben werden können. Wir haben das bereits in Cap. I. §. 8 experimentell durchgeführt und geben hier noch die Tabelle, welche Prechtl**) darüber zusammengestellt hat.

Wir nehmen einen Cylinder an, dessen Querschnitt 1 Quadratfuß betrage. In dem Cylinder befinde sich der dampfdichte Kolben, welcher die mechanische Arbeit übertragen soll. Unter denselben trete 1 Pfund gesättigter Wasserdampf von der Temperatur t. Er nimmt in dem Cylinder einen Raum ein, welcher nach dem, der Temperatur t zukommenden relativen Volumen μ des Dampfes bestimmt wird. Der Dampf übt dabei einen, ebenfalls durch die Temperatur t bestimmten Druck p

*) Die Formeln sind im 9. Abschnitt der Resultate für den Maschinenbau von Redtenbacher zusammengestellt. (S. 204—220.)

**) Technol. Encyklopädie. Bd. III. S. 587—589.

auf den Kolben aus und schiebt denselben im Cylinder soweit aufwärts, als sein relatives Volumen verlangt.

Im Artikel „Dampf" *) ist bereits die Tabelle von Arzberger über die Temperatur, den Druck und die Dichtigkeit des Dampfes in Wiener Maßen mitgetheilt worden, welche Prechtl zu seiner Tabelle benutzt. In der 6. Columne giebt k die Anzahl der Cubikfuße Dampf an, die bei der Temperatur t (in der 1. Columne) aus 1 Pfund Wasser gebildet werden. Weil nun unser Dampfcylinder einen Querschnitt von 1 Quadratfuß hat, so geben die Zahlen der 6. Columne zugleich die Höhe h an, welche der Dampf im Cylinder einnimmt, so daß in unserem Falle k = h ist. Die 5. Columne giebt den entsprechenden Druck p, d. h. die Anzahl Pfunde auf den Quadratzoll, welche der Dampf vermöge seiner Spannung zu tragen vermag. Der Querschnitt des Kolbens ist 144 Quadratzoll, folglich der Gesammtdruck, den der Dampf auf den Kolben ausübt,

$$P = 144 . p.$$

Die Wirkungsgröße, welche der Dampf ausübt, ist also (nach Cap. I. §§. 5 u. 13)

$$(1) \quad W = P . h.$$

d. h. das Product aus dem Druck in den Weg. Setzen wir dabei voraus, daß der Kolben keinen Gegendruck erleide, daß er sich folglich durch einen drucklosen Raum bewege; daß ferner dieser Druck ein constanter sei, und daß die, auf diese Art gewonnene lebendige Kraft in gleicher Intensität wieder an andere Körper abgegeben werden könnte: so wäre diese gesammte Wirkungsgröße eine nützliche. Wenn wir von den dynamischen Wirkungen in der Dampfmaschine also absehen und die idealen Voraussetzungen theoretisch gelten lassen, so haben wir durch P. h. allerdings die mechanische Wirkung des Dampfes ausgedrückt. Für 1 Atmosphärendruck z. B. ist $t = 80^0$ R., $k = 30{,}129$ und $p = 12{,}732$.

Also wäre die mechanische Wirkung

$$W = P . h = 144 . p . k = 144 . 30{,}129 . 12{,}732 = 55237$$

Fußpfund. Auf diese Weise kann man sich folgende Tabelle über die theoretische mechanische Arbeit des Dampfes zusammenstellen.

Tabelle IV.

Temperatur des Dampfes	Druck in Atmosphären	Druck auf 1 Quadratzoll in Pfunden = p	Cubikfuß Dampf in 1 Pfund = k	Mechanische Wirkung von 1 Pfund Dampf in Pfunden auf 1 Fuß gehoben = w
65°,125	0,5	6,366	57,219	52452
75,5	0,75	9,549	39,480	54286
80	1	12,732	30,129	55237
97,5	2	25,464	15,938	58450
108,5	3	38,196	11,013	60570
116,5	4	50,928	8,469	62107
123,7	5	63,660	6,932	63240
148	10	127,32	3,712	68054
164,3	15	190,98	2,587	71143
176 ,8	20	254,64	2,006	73555

*) Bd. II. S. 124.

Ein Ueberblick über die letzte Columne zeigt, daß die Wirkungsgröße w mit dem Drucke p wächst, daß folglich das Product P . k nicht immer dasselbe ist. Dies beweist, daß das, in §. 8 ausgesprochene 4. Gesetz in diesem Sinne nur oberflächliche Geltung hat.

Aus unserer Tabelle I. (§. 19) könnten wir auf ähnliche Weise eine Tabelle zusammenstellen, indem wir mit Zugrundelegung des Cubikmeter und Kilogramm das Product aus der 4. und 6. Columne nähmen. Diese, für specielle Annahmen gemachte Berechnung muß aber verallgemeinert werden, um sie auf die Dampfmaschine anwenden zu können. Die Frage, in welcher Zeit die mechanische Wirkung vor sich geht, also die Angabe des Effectes per Secunde, ist in der Formel (1) nicht enthalten. Nennen wir daher allgemein: F den Querschnitt des Dampfkolbens in Quadratmetern; p den Dampfdruck im Kessel und Cylinder auf einen Quadratmeter in Kilogrammen; s den Weg in Metern, den der Kolben von dem Augenblick an durchlaufen hat, wo der Dampf in den Cylinder eintrat; v das Volumen des Cylinderraumes in Cubikmetern, wenn der Stempel in der Entfernung von seinem Ausgangspunkte angelangt ist, so ist der Gesammtdruck P gegen die Fläche des Kolbens $P = F \,.\, p^{kil}$. Wenn der Kolben sich um die Größe ds fortbewegt, so ist das vom Dampf hervorgebrachte Element Arbeit $p \,.\, F \,.\, ds^{km}$ und, da $F \,.\, ds = dv$ ist, so reducirt sich die Quantität der Arbeit auf $p \,.\, dv^{km}$. Da nun der Druck p constant bleiben soll, so erhält man durch Integration dieses Werthes, zwischen den Grenzen: $v = o$, bis zu dem Werthe, welcher dem Augenblick entspricht, wo der Dampf abgesperrt wird, die Gesammtarbeit des vollen Dampfes zu

$$(2) \quad p \,.\, v = P \,.\, s.$$

Diese Arbeit gilt für einen vollen Auf- oder Niedergang des Kolbens im Cylinder, sobald die Maschine ohne Expansion arbeitet.

Macht die Maschine per Minute n Spiele (d. h. Aufgang + Niedergang), so legt der Kolben in der Minute den Weg $2 \,.\, s \,.\, n$ zurück und die mittlere Kolbengeschwindigkeit c ist per Secunde

$$c = \frac{n \,.\, 2\,s}{60} = \frac{n \,.\, s}{30}.$$

Das Arbeitsproduct P . s geht sodann in P . c über und die theoretische Leistung der Dampfmaschine ist in der Secunde

$$(3) \quad E = P \,.\, c = \frac{n \,.\, s}{30} \,.\, F \,.\, p = \frac{n}{30} \,.\, pv = Q \,.\, p,$$

wenn Q das, per Secunde verbrauchte Dampfquantum in Cubikmetern bezeichnet.

Da nun aber der Dampfkolben stets einen Gegendruck erleidet, den wir mit q Klgr. per Quadratmeter bezeichnen wollen, so ist der gesammte Gegendruck $= F \,.\, q$, der Druck P reducirt sich also auf $P = F\,(p - q)$ und daher ist der theoretische Effect der Maschine nur

$$(4) \quad E = \frac{n \,.\, s}{30} \,.\, F \,.\, (p - q) = \frac{n}{30} \,.\, v\,(p - q) = Q\,(p - q).$$

Bei Condensationsmaschinen ist q der Dampfdruck im Condensator, bei Hochdruckmaschinen ist q der Atmosphärendruck.

§. 22. Die Bestimmung der Wirkung des Dampfes bei der Expansion kann auf verschiedene Weise geschehen. Das annähernde Verfahren von Poncelet, nach der Simpson'schen Regel, ist bereits in §. 13 u. 17 mitgetheilt. Poncelet

giebt in Bezug darauf, noch ein abgekürztes Verfahren an*). Er berechnete eine Tabelle über die Quantität der total entwickelten Arbeit, welche 1 Cubikmeter Wasserdampf unter dem Druck von 1 Atmosphäre bei verschiedener Expansion auf einen Kolben von 1 Quadratmeter Querschnitt entwickelt. Die 1. Columne giebt das Volumen nach der Expansion an, oder den Grad der Expansion von $1 + \frac{1}{100}$ bis zu 100facher Expansion. Die 2. Columne zeigt die Quantität der, vor und nach der Expansion total entwickelten Arbeit an. Die Tabelle giebt aber nur bis zur 5fachen Expansion zuverlässige Resultate **). Darüber hinaus ist der Effect zu groß und nur hypothetisch angegeben, was in sofern gleichgültig ist, als man die Expansion nicht leicht über das 5fache hinaus treibt. Die Quantität der Arbeit für 1 Cubikmeter Dampf bei 1 Atmosphäre Druck, wenn derselbe nur das ursprüngliche Volumen v von 1 Cubikm. einnimmt, ist die Arbeit p . 1. dieses Dampfvolumens ohne Expansion.

Tabelle V.

Quantität der Total-Arbeit, welche 1 Cubikmeter Wasserdampf unter dem Druck von 1 Atmosphäre bei verschiedener Expansion entwickelt.

Volumen nach der Expansion	Quantität der entwickelten Arbeit	Volumen nach der Expansion	Quantität der entwickelten Arbeit	Volumen nach der Expansion	Quantität der entwickelten Arbeit	Volumen nach der Expansion	Quantität der entwickelten Arbeit
Cubikmet.	Klgrmet.	Cubikmet.	Klgrmet.	Cubikmet.	Klgrmet.	Cubikmet.	Klgrmet.
1,00	10333	1,35	13434	2,80	20973	5,50	27949
1,01	10436	1,40	13810	2,90	21335	5,60	28135
1,02	10538	1,45	14173	3,00	21686	5,70	28318
1,03	10639	1,50	14523	3,10	22024	5,80	28498
1,04	10739	1,55	14862	3,20	22353	5,90	28674
1,05	10837	1,60	15190	3,30	22671	6,00	28848
1,06	10935	1,65	15508	3,40	22979	6,25	29270
1,07	11032	1,70	15816	3,50	23279	6,50	29675
1,08	11129	1,75	16116	3,60	23570	6,75	30065
1,09	11224	1,80	16407	3,70	23853	7,00	30441
1,10	11318	1,85	16690	3,80	24128	7,25	30804
1,11	11412	1,90	16966	3,90	24397	7,50	31154
1,12	11504	1,95	17234	4,00	24658	7,75	31493
1,13	11596	2,00	17496	4,10	24914	8,00	31820
1,14	11687	2,05	17751	4,20	25163	8,25	32139
1,15	11778	2,10	18000	4,30	25406	8,50	32447
1,16	11867	2,15	18243	4,40	25643	8,75	32747
1,17	11956	2,20	18481	4,50	25875	9,00	33038
1,18	12044	2,25	18713	4,60	26103	9,25	33321
1,19	12131	2,30	18940	4,70	26325	9,50	33597
1,20	12217	2,35	19162	4,80	26542	9,75	33865
1,21	12303	2,40	19380	4,90	26755	10	34127
1,22	12388	2,45	19593	5,00	26964	15	38317
1,23	12472	2,50	19802	5,10	27169	20	41289
1,24	12556	2,55	20006	5,20	27369	25	43595
1,25	12639	2,60	20207	5,30	27566	50	50758
1,30	13044	2,70	20597	5,40	27759	100	57920

*) Mécanique industrielle. Vol. I. §§. 186, 196 u. 197.

**) Mécanique industrielle. §. 195.

Der Gebrauch dieser Tabelle ist folgender: Gesetzt, wir wissen aus derselben, daß 1 Cubikmeter Dampf von 1 Atmosphäre Spannung bei n facher Expansion einen Effect von der Größe E auf den Kolben ausübe. Wir suchen die Arbeit x, welche für dieselbe n fache Expansion ein Dampfvolumen von v^{kbm} bei einer Spannung von p Atmosphären ausübt. Diese giebt uns die Proportion:

$$1^{kbm} . 1^{atm} : v^{kbm} . p^{atm} = E^{klm} : x^{klm} \text{ folglich}$$
$$x = v . p . E \text{ Klgrm.}$$

Dieser Werth von x ist sodann noch um die Arbeit Q . q (§. 21) zu vermindern, welche durch den Gegendruck auf den Kolben im entgegengesetzten Sinne ausgeübt wird. Nehmen wir das Beispiel von §. 13 und 17 wieder auf. Die Dampfspannung sei demnach p = 3,5 Atmosphären, das Volumen n nach der Expansion sei das 4,5fache des ursprünglichen Volumens. Das Volumen vor der Expansion ist (nach §. 13) bei $0^m,8$ Kolbendurchmesser und 0^m, 32 Kolbenweg im Moment der Absperrung, $v = 0^m,32 . (0^m,4)^2 . \pi = 0,16085^{kbm}$.

Die Tabelle giebt für die 4,5fache Expansion eines Cubikmeters Dampf von 1 Atmosphäre, den Effect E = 25875, folglich ist der Effect

$$x = v . p . E = 0,16085 . 3,5 . 25875 = 14564 \text{ Kilogrammeter.}$$

Dieses Resultat ist nach §. 15, 17 und 18 noch um die Summe des schädlichen Gegendruckes und der Widerstände zu vermindern, um die theoretische nützliche Arbeitsgröße des Dampfes auf den Kolben zu erhalten. Wenn man von den Zahlen der 2. Columne die (durch die constante Zahl 10333^{km} ausgedrückte) Arbeit des vollen Dampfes abzieht, welche vor dem Beginn der Expansion entwickelt wurde, so giebt die Differenz die Arbeitsgröße an, welche der Expansion allein zukommt. Dividirt man die Werthe der 2. Columne durch 10333, so giebt der Quotient die Arbeit eines Cubikmeter expandirenden Dampfes, reducirt auf die Einheit des Druckes (von 1 Klgr. auf den Quadratmeter). Diese Quotienten geben zugleich die Größe des Flächeninhaltes einer Reihe von hyperbolischen Segmenten an, wie wir sie in §. 13 (Fig. S. 270) durch a b b′ a′, a c c′ a′, a d d′ a′ 2c. dargestellt haben. Die Abscissen 0 a, 0 b, 0 c, 0 d 2c. entsprechen den Werthen der ersten Columne 1; 1,01; 1,02; 1,03 2c. Die erste Ordinate a a′, entsprechend der Abscisse 0 a = 1, bezeichnet die Einheit des Druckes, auf welche die übrigen Ordinaten b b′ c c′ 2c. bezogen sind. Das Product 0 a . a a′, welches die Arbeitsgröße des vollen Dampfes ausdrückt, ist daher die Einheit der Arbeit = 1^{km}, auf welche die übrigen Flächeninhalte bezogen sind.

Ueber das Verhältniß der Arbeit vor und nach der Expansion, so wie mit und ohne Expansion, hat F. Lorentz eine Tabelle zusammengestellt *), welche wir hier folgen lassen. Die erste Columne zeigt den Grad der Expansion durch die Stellung des Dampfkolbens (in Theilen des ganzen Hubes) an, bei welcher die Expansion beginnt. Die Arbeit, welche bis zum Moment der Absperrung vom Dampfe ausgeübt wurde, ist = 1 gesetzt. Die zweite Columne giebt die Verhältnißzahl der, auf diese Einheit bezogenen Arbeit des expandirenden Dampfes allein, die dritte Columne die Totalarbeit durch die Summe (1 + den Werthen der 2. Columne) an. Die 4. Columne stellt endlich eine Vergleichung der Arbeit,

---

*) Mitgetheilt im Carnet à l'usage des Ingenieurs. Paris. 1851. p. 135.

welche auf diese Weise gewonnen wird, mit der Arbeit an, welche man erhalten hätte, wenn der Dampfkolben mit vollem Dampf, ohne alle Expansion gearbeitet hätte. Die Werthe sind in umgekehrter Reihenfolge gegen die der Tabelle V. aufgestellt. Die Absperrung bei 0,01 des Kolbenlaufes entspricht der 100fachen Expansion, die Absperrung bei 0,99 der schwächsten Expansion von 1,01 nach Poncelet. Die Verhältnißzahlen der 4. Columne nähern sich natürlich um so mehr der Einheit, je später die Absperrung erfolgt.

Tabelle VI.

Verhältniß der Arbeit des Dampfes mit und ohne Expansion.

Stellung des Kolbens, bei welcher die Expansion beginnt, in Theilen des ganzen Kolbenweges	Arbeit, welche der Expansion allein entspricht. Die Arbeit des vollen Dampfes = 1	Totalarbeit des Dampfes vor und nach der Expansion. Die Arbeit mit vollem Dampf = 1	Verhältniß der Totalarbeit mit Expansion zur Totalarbeit ohne Expansion während des ganzen Kolbenlaufes.	Stellung des Kolbens, bei welcher die Expansion beginnt, in Theilen des ganzen Kolbenweges	Arbeit, welche der Expansion allein entspricht. Die Arbeit des vollen Dampfes = 1	Totalarbeit des Dampfes vor und nach der Expansion. Die Arbeit mit vollem Dampf = 1	Verhältniß der Totalarbeit mit Expansion zur Totalarbeit ohne Expansion während des ganzen Kolbenlaufes
0,01	4,6052	5,6052	0,056	0,31	1,1712	2,1712	0,673
0,02	3,9120	4,9120	0,098	0,32	1,1394	2,1394	0,685
0,03	3,5066	4,5066	0,135	0,33	1,1087	2,1087	0,696
0,04	3,2189	4,2189	0,179	0,34	1,0788	2,0788	0,707
0,05	2,9958	3,9958	0,200	0,35	1,0498	2,0498	0,717
0,06	2,8134	3,8134	0,229	0,36	1,0217	2,0217	0,729
0,07	2,6703	3,6703	0,257	0,37	0,9943	1,9943	0,738
0,08	2,5257	3,5257	0,282	0,38	0,9676	1,9676	0,748
0,09	2,4080	3,4080	0,307	0,39	0,9416	1,9416	0,757
0,10	2,3026	3,3026	0,330	0,40	0,9163	1,9163	0,767
0,11	2,2073	3,2073	0,353	0,41	0,8917	1,8917	0,776
0,12	2,1203	3,1203	0,374	0,42	0,8674	1,8674	0,784
0,13	2,0400	3,0400	0,389	0,43	0,8440	1,8440	0,793
0,14	1,9661	2,9667	0,415	0,44	0,8209	1,8209	0,801
0,15	1,8971	2,8971	0,435	0,45	0,7985	1,7985	0,810
0,16	1,8326	2,8326	0,453	0,46	0,7765	1,7765	0,817
0,17	1,7720	2,7720	0,471	0,47	0,7550	1,7550	0,825
0,18	1,7148	2,7148	0,489	0,48	0,7340	1,7340	0,832
0,19	1,6607	2,6607	0,506	0,49	0,7133	1,7133	0,840
0,20	1,6094	2,6094	0,522	0,50	0,6932	1,6932	0,846
0,21	1,5607	2,5607	0,538	0,51	0,6733	1,6733	0,854
0,22	1,5207	2,5207	0,555	0,52	0,6539	1,6539	0,860
0,23	1,4697	2,4697	0,569	0,53	0,6348	1,6348	0,866
0,24	1,4271	2,4271	0,583	0,54	0,6162	1,6162	0,873
0,25	1,3863	2,3863	0,597	0,55	0,5978	1,5978	0,879
0,26	1,3471	2,3471	0,610	0,56	0,5798	1,5798	0,885
0,27	1,3093	2,3093	0,624	0,57	0,5621	1,5621	0,890
0,28	1,2730	2,2730	0,636	0,58	0,5447	1,5447	0,896
0,29	1,2378	2,2378	0,649	0,59	0,5276	1,5276	0,901
0,30	1,2040	2,2040	0,661	0,60	0,5108	1,5108	0,906

Stellung des Kolbens, bei welcher die Expansion beginnt, in Theilen des ganzen Kolbenweges	Arbeit, welche der Expansion allein entspricht. Die Arbeit des vollen Dampfes = 1	Totalarbeit des Dampfes vor und nach der Expansion. Die Arbeit mit vollem Dampf = 1	Verhältniß der Totalarbeit mit Expansion zur Totalarbeit ohne Expansion während des ganzen Kolbenlaufes	Stellung des Kolbens, bei welcher die Expansion beginnt, in Theilen des ganzen Kolbenweges	Arbeit, welche der Expansion allein entspricht. Die Arbeit des vollen Dampfes = 1	Totalarbeit des Dampfes vor und nach der Expansion. Die Arbeit mit vollem Dampf = 1	Verhältniß der Totalarbeit mit Expansion zur Totalarbeit ohne Expansion während des ganzen Kolbenlaufes
0,61	0,4943	1,4943	0,912	0,81	0,2107	1,2107	0,9807
0,62	0,4780	1,4780	0,916	0,82	0,1984	1,1984	0,9827
0,63	0,4620	1,4620	0,921	0,83	0,1863	1,1863	0,9846
0,64	0,4460	1,4460	0,925	0,84	0,1743	1,1743	0,9864
0,65	0,4307	1,4307	0,9299	0,85	0,1625	1,1625	0,9881
0,66	0,4155	1,4155	0,9342	0,86	0,1307	1,1307	0,9896
0,67	0,4012	1,4012	0,9388	0,87	0,1392	1,1392	0,9911
0,68	0,3853	1,3853	0,9420	0,88	0,1278	1,1278	0,9925
0,69	0,3718	1,3718	0,9465	0,89	0,1164	1,1164	0,9936
0,70	0,3563	1,3563	0,9494	0,90	0,1054	1,1054	0,9949
0,71	0,3424	1,3424	0,9531	0 91	0,0943	1,0943	0,9959
0,72	0,3284	1,3284	0,9564	0,92	0,0833	1,0833	0,9966
0,73	0,3147	1,3147	0,9597	0,93	0,0725	1,0725	0,9974
0,74	0,3011	1,3011	0,9628	0,94	0,0618	1,0618	0,9981
0,75	0,2877	1,2877	0,9658	0,95	0,0513	1,0513	0,9987
0,76	0,2723	1,2723	0,9669	0,96	0,0408	1,0408	0,9992
0,77	0,2614	1,2614	0,9713	0,97	0,0307	1,0307	0,9998
0,78	0,2466	1,2466	0,9723	0,98	0,0202	1,0202	0,9998
0,79	0,2357	1,2357	0,9762	0,99	0,0110	1,0110	1,0000
0,80	0,2231	1,2231	0,9785	1,00	0,0011	1,0011	1,0000

Zur Abkürzung dieser, häufig wiederkehrenden Berechnungen, bedient man sich der hyperbolischen Logarithmen, deren Anwendung durch die Tabelle V, mit Beziehung auf die Simpson'sche Regel motivirt ist. Mit Zugrundlegung des Mariotti'schen Gesetzes, hat Poncelet*) die Formel

$$(5) \quad p \, . \, v \, . \, \text{lg. nat.} \left(\frac{v_1}{v}\right)$$

für die Arbeitsgröße entwickelt, welche der Expansion allein entspricht. Die Buchstaben p u. v bezeichnen den Dampfdruck und das Dampfvolumen (für Cubikmeter und Kilogrammen) vor der Expansion, v_1 ist das Volumen des Dampfes in Cubikmetern nach der Expansion.

Addirt man diese Arbeit zu der in Formel (2) durch den vollen Dampf ausgeübten, so erhält man die gesammte Arbeit, welche der Dampf zwischen den Grenzen $v = 0$ bis $v = v_1$ entwickelt, zu

$$(6) \quad p \, . \, v \, . \left(1 + \text{lg. nat.} \, \frac{v_1}{v}\right) \text{ Klgrmeter.}$$

*) Mécan. industr. Vol. I. §. 199. Mécan. appliquée. Vol. II. §. 173.

Der Gegendruck q im Condensator bringt eine Arbeit hervor, welche während der ganzen Expansion, bis zum Volumen v_1 constant entgegen wirkt, also durch $q \, . \, v_1$ ausgedrückt wird. Diese Arbeit ist zu subtrahiren. Wir erhalten folglich die nützliche Arbeit des Dampfes zu

$$(7) \quad p \, . \, v \, . \left(1 + \text{lg. nat.} \frac{v_1}{v}\right) - q \, . \, v_1 \text{ Klgrmeter.}$$

Nennen wir endlich den Druck des Dampfes nach der Expansion, beim Volumen v_1 auf den Quadratmeter des Kolbens, p_1, so besteht nach dem Mariotti'schen Gesetz die Relation

$$p : p_1 = v_1 : v \text{ oder } p\,v = p_1\,v_1$$

folglich reducirt sich die Formel *) auf:

$$(8) \quad p\,v \left[1 + \text{lg. nat.} \left(\frac{p}{p_1}\right) - \frac{q}{p_1}\right]$$

Nach Formel (3) und (4) ist endlich, wenn n wie früher die Anzahl der Kolbenspiele per Minute bezeichnet, die theoretische Leistung der Dampfmaschine per Secunde

$$(9) \quad E = \frac{n}{30} \, . \, p \, . \, v \left[1 + \text{lg. nat.} \left(\frac{p}{p_1}\right) - \frac{q}{p_1}\right] \text{ Klgrm.}$$

wobei man das Volumen v durch das Product F . s des Kolbenquerschnittes in den Kolbenweg bestimmt, oder in Pferdekräften zu 75 Klgrm. per Secunde

$$(10) \quad E_n = \frac{n}{30} \, . \, \frac{p \, . \, v}{75} \left[1 + \text{lg. nat.} \left(\frac{p}{p_1}\right) - \frac{q}{p_1}\right].$$

Mit Zugrundlegung der Navier'schen und Pambour'schen Formel, nach dem Gay-Lussac'schen Gesetz wird die Formel complicirter, indem man zu den Werthen p, p_1 und q noch die Constante β hinzuzufügen hat **). Für $\beta = 0$ geht diese Formel in die einfachere, nach dem Mariotti'schen Gesetz bestimmte über. Für Niederdruckmaschinen ohne Expansion ist $p = p_1$ und die Formel (10) geht über in

$$(11) \quad E_n = \frac{n}{30} \, . \, \frac{p \, . \, v}{75 \, .} \left(1 - \frac{q}{p}\right) \text{ Klgrm.}$$

Bei Hochdruckmaschinen ist endlich q der Atmosphärendruck oder 10330 Klgr. per Quadratmeter und die Formel geht, wenn keine Expansion angewendet wird, über in

$$(12) \quad E_n = \frac{n}{30} \, . \, \frac{v \, .}{75 \, .} \, . \, (p - 10330) \text{ Klgrm.}$$

§. 23. Diese Formeln sind unabhängig von der Form und Anordnung der Dampfmaschinen und daher für jedes System anwendbar. Aber dieser anscheinende Vortheil der universellen Anwendung ist der offenbarste Nachtheil für die praktische Benutzung. Denn in der Praxis fragt man selten nach der theoretischen Leistung einer fertigen Dampfmaschine (da die praktische Leistung sich durch andere Proben

*) Diese Formel stellte Poncelet bereits im Jahre 1826 in seinen Leçons à l'école d'application de Metz auf.

**) Siehe §. 20 und Weißbach's Mechanik. Bd. II. §. 354.

ergiebt) *), sondern man fragt nach den Dimensionen einer neu zu erbauenden, dem System und Nutzeffect nach schon fest bestimmten Maschine. Da nun die Poncelet-Morin'sche Fundamentalformel nicht ein einziges einfaches Constructionselement enthält, so ist man gezwungen, sie bei der Hauptfrage über die Dimensionen ganz bei Seite zu lassen, sich an empirische Regeln und Tabellen zu halten und nach diesen Umwegen endlich die Poncelet'schen Formeln nur als Probe anzuwenden.

Um mit denselben die Leistungsfähigkeit einer fertigen Maschine zu prüfen, bedürfen dieselben auch noch der Correction. Morin und Poncelet haben dabei einen Weg eingeschlagen, der sich wenigstens der Kürze wegen empfiehlt. Sie setzen ohne Weiteres zu der theoretischen Formel einen Erfahrungscoefficienten k hinzu **), welcher die Formel mit der Erfahrung in Uebereinstimmung bringen soll und sich bei Maschinen von verschiedener Größe und verschiedenen Systemen ändert. Morin, Poncelet, Prony, Combes rc. haben zur Ermittelung der Effectivleistung im Vergleich zur theoretischen Leistung, eine Reihe von Versuchen angestellt und darnach Tabellen über die Erfahrungscoefficienten zusammengestellt, welche wir hier mittheilen.

VII. Tabellen über den Wirkungsgrad der Dampfmaschinen, nach Poncelet und Morin.

A. Für Watt'sche Niederdruckmaschinen.

Leistung der Maschinen in Pferdekräften	Werth des Erfahrungscoefficienten k bei sehr gutem Zustand der Unterhaltung	Werth des Erfahrungscoefficienten k bei gewöhnlichem Zustand der Unterhaltung
4 bis 8	0,50	0,42
10 „ 20***)	0,56	0,47
30 „ 50	0,60	0,54
60 „ 100	0,65	0,60

B. Für Hochdruckmaschinen ohne Expansion.

Leistung der Maschinen in Pferdekräften	Werth des Erfahrungscoefficienten k bei sehr gutem Zustand der Unterhaltung	Werth des Erfahrungscoefficienten k bei gewöhnlichem Zustand der Unterhaltung
2 bis 10	0,50	0,40
10 „ 20	0,55	0,44
20 „ 30	0,60	0,48
30 „ 40	0,65	0,52
40 „ 100	0,70	0,56

*) Siehe d. Art. Dynamometer.

**) Morin, aide mémoire, (übersetzt von Holtzmann) §§. 168—180. Poncelet, mécanique appliquée, (übersetzt von Schnuse) Bd. II. §§. 179—189. Weißbach, Mechanik. Bd. II. §§. 375 und 76.

***) Versuche von Poncelet in Sedan.

C. Für Expansionsmaschinen (ein und zwei Cylinder) mit Condensation.

Leistung der Maschinen in Pferdekräften	Werth des Erfahrungscoefficienten	
	bei sehr gutem Zustand der Unterhaltung	bei gewöhnlichem Zustand der Unterhaltung
4 bis 8	0,33	0,30
10 „ 20*)	0,42	0,35
20 „ 30	0,44	0,35
30 „ 40**)	0,50	0,42
40 „ 50	0,57	0,46
50 „ 60***)	0,62	0,50
60 „ 70***)	0,66	0,53
70 „ 80***)	0,82	0,66
80 „ 100***)	0,70	0,56

Man ersieht aus diesen Tabellen, daß der Coefficient, welcher mit der Vollkommenheit der Ausführung und dem Unterhaltungszustande der Maschinen variirt, auch von der absoluten Größe derselben abhängt. Denn die Verluste an Dampf und die passiven Widerstände nehmen ungefähr mit dem Quadrat des Cylinderdurchmessers zu, während das Dampfvolumen und mithin die Wirkungsgröße der Maschine im Kubus des Cylinderdurchmessers wächst. (Siehe Cap. I. §. 15.) Daraus folgt, daß es vortheilhafter sei, große Maschinen anzuwenden, als kleine. Nur die Expansionsmaschinen machen davon eine Ausnahme, weil, wie schon oben (§. 22) bemerkt ist, die Expansion bald ihre Grenze der Maximalleistung erreicht. Die bedeutende Differenz zwischen der theoretischen und Effectivleistung der Dampfmaschinen nach den Poncelet'schen Formeln, erklärt sich durch das Entweichen und Abkühlen des Dampfes, durch die passiven Widerstände der Maschine, welche durch die Construction bedingt sind und durch die Wärmeverluste am Feuerherd.

§. 24. Die eigentliche motorische Kraft in der Dampfmaschine ist nicht der Dampf, sondern die Wärme, welche durch die verschiedenen Brennmaterialien entwickelt wird. — Je vollkommener diese Wärme durch den Dampfkessel aufgenommen werden kann, desto vollkommener ist der Nutzeffect der Maschine, da jeder Wärmeverlust ein reeller Kraftverlust ist****). Die Leistung einer Dampfmaschine kann also durch den Brennstoffaufwand ausgedrückt werden, den sie zu ihrer Unterhaltung erfordert. Poncelet führt diese Betrachtung auf die Frage zurück: wie groß die Quantität Arbeit sei, welche ein Kilogramm verbrannter Steinkohlen in der Dampfmaschine entwickelt.

Diese Arbeit richtet sich theils nach der Heizkraft der Brennmaterialien (in Calorien nach Clement oder Wärmeeinheiten nach Navier ausgedrückt); theils nach der Anlage der Kessel. Die Heizkraft der Brennstoffe haben

*) Versuche zu Douay, 1828 (Mémorial de l'artillerie. No. 3).
**) Versuche von Prony (Journal des mines. Vol. XII.).
***) Für Cornwallmaschinen.
****) Siehe d. Art. Heizung und Cap. III. §. 26.

wir hier nicht zu betrachten *). Es sei jetzt nur bemerkt, daß ein Kilogramm trockener Holzkohle, reiner Coaks oder Steinkohlen erster Qualität 7050 Wärmeeinheiten entwickelt **), d. h. fähig ist, 7050 Klgr. Wasser von 0° um 1° zu erwärmen, oder 1 Klgr. Wasser von 0° um 7050°; daß ferner 1 Klgr. Holz nur die Hälfte Wärmeeinheiten (3000 bis 3600), ordinäre Steinkohle im Mittel 6000 und Torf 1500 bis 3000 Wärmeeinheiten entwickelt. Da nun nach §. 20 zur Verwandlung von Wasser bei 0° in Dampf von irgend einer Spannung annähernd immer 650 Wärmeeinheiten erforderlich sind, so ist z. B. 1 Klgr. gute Steinkohle fähig, $\frac{7050}{650}$ = circa 11 Klgr. Dampf theoretisch zu produciren. Von dieser Heizkraft geht aber wenigstens $1/3$ verloren und im günstigsten Fall können nur $2/3$ zur Dampfproduction verwendet werden, so daß wir annehmen können, daß 1 Klgr. der besten Steinkohle im Maximum nur 7 Klgr. Dampf produciren wird. Bezeichnet N die Anzahl der Wärmeeinheiten, welche 1 Klgr. des Brennmaterials entwickeln kann, t die Anzahl der Wärmegrade, welche die zu verdampfenden ω Klgr. Wasser bereits besitzen, so ist allgemein

$$(13) \quad \frac{\omega\,(650 - t)}{N}$$

die theoretische Menge Brennmaterial in Kilogrammen, welche zur Verdampfung erforderlich ist.

Mit Berücksichtigung des Mariotti'schen und Gay-Lussac'schen Gesetzes (siehe §. 20) drückt Poncelet ***) das Volumen v einer gegebenen Gewichtsmenge von ω Klgr. Dampf, bei bekannter Temperatur t' und gegebener Spannkraft p aus durch:

$$(14) \quad v = 1{,}2777 \,.\, \omega \,.\, \frac{1 + 0{,}00375\, t'}{p}\,.$$

Dieser Werth von v in die Poncelet'sche Formel für Expansion (§. 22) eingesetzt giebt

$$(15) \quad E = 1{,}2777 \,.\, \omega(1 + 0{,}00375 \,.\, t')\left[1 + \text{lg. nat.}\left(\frac{p}{p_1}\right) - \frac{q}{p_1}\right]$$

als theoretischen Ausdruck für die Quantität der Arbeit, welche das Dampfvolumen v hervorbringt. Da nun ω Klgr. Wasser auch ω Klgr. Dampf liefern müssen, so erhält man, wenn man für ω den gefundenen Werth $\frac{N}{(650 - t)}$ einsetzt, die theoretische Quantität Arbeit, welche 1 Kilogramm Brennmaterial entspricht,

$$(16) \quad E = \frac{1{,}2777 \,.\, N\,(1 + 0{,}00375\, t')}{650 - t}\left[1 + \text{lg. nat.}\left(\frac{p}{p_1}\right) - \frac{q}{p_1}\right].$$

Für Steinkohle, bei welcher N = 7050 ist, reducirt sich der Ausdruck auf

$$(17) \quad E = 9000 \,.\, \frac{1 + 0{,}00375\, t'}{650 - t}\left[1 + \text{lg. nat.}\left(\frac{p}{p_1}\right) - \frac{q}{p_1}\right].$$

---

*) Siehe d. Art. Wärme und Heizung.

**) Redtenbacher, Resultate. §. 220. S. 178.

***) Mécanique appliquée, Vol. II. §§. 163, 166, 176.

Nun haben aber die Werthe p p_1 und q (welche wir in Klgr. per Quadratmeter und nicht, wie Poncelet, per Quadratcentimeter ausdrücken) so wie t und t' natürliche Grenzen, welche nicht überschritten werden können. Der Druck q im Condensator kann niemals schwächer werden, als der, welcher der Temperatur $t = 10^0$ entspricht, also niemals unter 129 Klgr. per Quadratmeter. Ebenso kann der niedrigste Werth von p_1, welcher die Grenze des Druckes nach der Expansion bezeichnet, im Fall man von allen Widerständen abstrahirt, im Minimum $p_1 = q$ sein. Der Einfluß der Vergrößerung der Spannung, der Expansion und Condensation bis zu ihren äußersten Grenzen, kann also in numerischen Resultaten folgendermaßen ausgedrückt werden. Für alle Maschinen ist die äußerste Grenze von t zu 10^0 anzunehmen, $650 - t$ ist also constant $= 640$ zu setzen. Nennen wir daher zur Abkürzung den Werth $9000 \cdot \left(\frac{1 + 0{,}00375 \cdot t'}{640}\right) = \gamma$ so erhalten wir:

1) Für Maschinen mit Expansion und Condensation (Woolf'sche und Cornwall-Maschine) die äußerste Grenze: $q = p_1 = 129$ Klgr., also ist die theoretische Arbeit

$$(18) \quad E = . \gamma \text{ lg. nat. } \frac{p}{129}.$$

2) Maschinen mit Condensation ohne Expansion (Newcomen und Watt). Grenzen: $q = 129$ Klgr.; $p_1 = p$; also:

$$(19) \quad E = . \gamma \left(1 - \frac{129}{p}\right).$$

3) Hochdruckmaschinen mit Expansion. Grenze: $q = p_1 = 10330$ (Atmosphärendruck), also:

$$(20) \quad E = . \gamma \text{ . lg. nat. } \left(\frac{p}{10330}\right).$$

4) Hochdruckmaschine ohne Expansion. Grenzen: $p_1 = p$ und $q = 10330$; also:

$$(21) \quad E = . \gamma \cdot \left(1 - \frac{10330}{p}\right).$$

Setzt man nun in diese Formeln verschiedene Werthe von p und t' ein, so erhält man die folgende hypothetische Tabelle über die theoretischen Leistungen der verschiedenen Maschinen, in Kilogrammetern ausgedrückt.

Tabelle VIII. Theoretische Quantität Arbeit für 1 Klgr. Kohle.

Dampfspannung in Atmosphären	1	2	4	8	16	32
Entsprech. Temper.	100°	121,4°	145,4°	172,1°	203,6°	239,8°
1) Maschinen mit Expansion u. Condensation	847293km	999764km	1167803km	1343150km	1525983km	1740386km
2) Mit Condens. ohne Expans.	191246	196086	202067	207663	213270	218801
3) Hochdruck mit Expansion	0	136708	280907	432398	591778	758293
4) Hochdr. ohne Expansion	0	88653	152016	182069	200141	212059

Diese Tabelle von Poncelet ist aber in dreifacher Hinsicht nur hypothetisch. Denn einestheils giebt sie die theoretische Heizkraft an, welche bei den Feueranlagen, nach S. 314, circa auf die Hälfte reducirt werden muß. Ferner setzt sie Maximal- und Minimalwerthe voraus, welche praktisch nicht erreicht werden können*). Endlich muß dieses, schon um die Hälfte verringerte Resultat, noch mit den Erfahrungscoefficienten in §. 23 abermals reducirt werden. Sie giebt aber trotzdem eine geeignete Uebersicht über die Progression der Wirkung jeder einzelnen Maschine, wenn die Dampfspannung in geometrischer Progression zunimmt; und über das Verhältniß der Leistung der Maschinen unter einander.

In letzterer Beziehung steht die Cornwallmaschine (Nr. 1) oben an, in ersterer die Hochdruckmaschine mit Expansion (Nr. 3). Die Leistung der Newcomen'schen und älteren Watt'schen Maschinen (Nr. 2) bleibt beinahe constant, und die Hochdruckmaschine ohne Expansion (Nr. 4) erreicht die Leistung der letzteren erst bei 32 Atmosphären. Wie weit diese theoretischen Leistungen aber von den praktischen Erfahrungen abweichen, zeigt am Besten die Vergleichung der Tabelle VIII. mit der folgenden, welche Poncelet und Morin **) über die Effectivleistungen der 4 Systeme zusammengestellt haben.

Tabelle IX. Erfahrungsmäßiger Nutzeffect für 1 Klgr. Kohle.

System der Maschine	Nutzeffect für 1 Klgr. verbrannter Steinkohlen			Verbrannte Kohlen per Stunde und Pferdekraft
	Theoretisch nach Poncelet	gute Bedienung	gewöhnliche Bedienung	
1) Expansion u. Condensation . . .	508827km	108000km	90000km	3 bis 4klgr.
2) Condensation ohne Expansion . . .	193026	54000	45000	5 „ 6 „
3) Hochdruck mit Expansion	346403	93000	55000	4 „ 5 „
4) Hochdruck ohne Expansion	182069	27000	21480	7 „ 10 „

Auch diese Tabelle ist noch eine unzuverläßige. Sie giebt weder die Zahl der Pferdekräfte der Maschine, noch die Höhe der Dampfspannung, noch die Messungsart an, welche der Leistung zu Grunde gelegt ist. Sie enthält nur mittlere Werthe, deren Vergleichung wieder zu denselben Schlüssen führt wie die der Tabelle VIII. und auch hinsichtlich des Kohlenverbrauches die 4 Systeme in die Ordnung 1, 3, 2, 4, ihren Leistungen gemäß, bringt.

Praktisch wichtiger ist die Tabelle, welche Coriolis***) aus vielen Beobachtungen an ausgeführten Maschinen zusammengestellt hat und welche wir hier um diejenigen Resultate vermehrt mittheilen wollen, welche Poncelet, Morin u. Hülße in ihren Werken geben. Zu bemerken ist dabei, daß Coriolis die Arbeit der Maschinen, wegen der Vereinfachung der Zahlen, in Dynamoden zu 1000 Kilogrammetern angiebt. Man hat also die Werthe der früheren Tabellen mit 1000 zu dividiren, um sie mit den Werthen der folgenden Tabelle unter gleiches Maß zu bringen.

*) Poncelet machte später selbst andere Annahmen. (Mécan. appliquée. Vol. II. §. 179—187.) Er setzte $t = 40$ und $q = 720$, wonach sich die theoretischen Werthe der 2. Columne in der Tabelle IX. ergeben haben.

**) Aide mémoire. §. 180. Mécan. appliquée. §. 180 u. ff.

***) Calcul de l'effet des machines. p. 334.

Tabelle X. Nutzeffect ausgeführter Dampfmaschinen, nach den Messungen von Combes, Hülße, Morin, Poncelet, Prony u. A.

System der Maschine	Zweck, Aufstellungsort und Constructeur der Maschine	Beobachter oder Autor	Art der Messung der Arbeitsgröße	Mittlere Dampfspannung in Atmosphären	Zahl der Pferdekräfte	Verbrannte Steinkohle per Pferdekraft und Stunde	Effect für 1 Klgr. Steinkohlen in Dynamoden	Bemerkungen
1) Newcomen	Schöpfmaschine in England	Morin und Poncelet	durch d. gehob. Wasser	1,13atm	44	13kil	21Dyn	Mittleres Resultat aus 4 Maschinen (Siehe §. 6).
2) Watt einfach wirkend mit Expansion	Fördermaschine zu Valenciennes	Combes Coriolis	durch das geförderte Gestein	3,5	—	—	21,5	Feuerung mit schlechter erdiger Steinkohle (Siehe §. 11).
3) Dies. Maschine	dito.	Combes	dito.	3,5	—	—	31,5	Feuerung mit guter Steinkohle 1824.
4) Woolf, mit 2 Cylindern	Pumpmaschine in d. Bergwerken zu Anzin von Edwards	Morin	durch das geförderte Wasser	3,5	12	8,18	33	Mittleres Resultat von 21 Maschinen zu Anzin (Siehe §§. 16 und 17).
5) Watt doppelt wirkend	Förtermasch. von Watt u. Boulton in Anzin	Morin und Poncelet	dito.	1,25	70	7,3	36,7	Mittleres Resultat von 8 Maschinen zu Anzin.
6) Watt einfach wirkend	Pumpe v. Chaillot in Paris von C. Perier	Morin und Poncelet	dito.	1,25	80	6,94	30	Siehe S. 266. Pompe à feu de Chaillot.
7) Watt einfach wirkend mit Expansion	Pumpe v. Gros-Caillou in Par. v. C. Perier	Morin und Poncelet	dito.	1,15	24	7,1	37,7	Siehe S. 266. Pompe à feu de Gros-Caillou.
8) Dieselbe Maschine	dito.	Prony 1821 Coriolis	dito.	3,5	24	—	46 bis 50	Genaue Messung (Siehe Prony's Rapport etc. Annales des mines T. XII. 1826). Es wurde Erdkohle aus der Auvergne und aus Blanzy gefeuert.
9) Watt doppelt wirkend	Betrieb d. Tuchfabrik von Gueein-Gridaine zu Sedan	Poncelet	Brems Dynamometer	1,125	20	5,5	49	Poncelet fand den Nutzeffect pr. 1 Klgr. Steinkohle zu 0,237 der theoretischen Wirkung; den Erfahrungscoefficienten für die Maschine zu 0,51 der theoretischen Arbeit

System der Maschine	Zweck, Aufstellungsort und Constructeur der Maschine	Beobachter oder Autor	Art der Messung der Arbeitsgröße	Mittlere Dampfspannung in Atmosphären	Zahl der Pferdekräfte	Verbrannte Steinkohle per Pferdekraft und Stunde	Effect für 1 Klgr. Steinkohlen in Dynamoden	Bemerkungen
10) Hochdruck mit Expansion variabel	Hülfsmaschine für den Betrieb der Maschinenfabrik von Richard Hartmann in Chemnitz	Prof. Dr. Hülße 1844	Brems Dynamometer	3,5atm	5	4 bis 5	80 Dyn	Die vortheilhafteste Geschwindigk. dieser Maschine ist 37,9 Umdrehungen pr. Min. Der Coefficient ergiebt sich dabei zu 0,63. Die verdampfte Wassermenge ist pr. Stunde u. Pferd 23,4 Klgr. Daraus sind die Werthe der 7. u. 8. Col. nach Poncelet's Regeln bestimmt worden. Das Nähere siehe im „Programm der k. Gewerbschule zu Chemnitz 1844" (Leipzig, Brockhaus).
11) Frimot, Hochdruck mit 2 Cylindern u. geringer Exp.	Wasserhebungs-Maschine zu Brest	Durch eine Commission d. franz. Marineministeriums	durch das gehobene Wasser	8	—	—	87	Genaue Messung. Die Frimot'sche Maschine weicht in der Construction nur wenig von der Woolf'schen ab, der Hauptunterschied ist geringe Expansion bei hoher Dampfspannung.
12) Woolf mit 3 Cylindern u. Expansion	Betrieb einer engl. Mahlmühle v. Aitken u. Steel	Poncelet 1828	Brems Dynamometer	3,5	22	3,13	90	Der Nutzeffect pr. 1 Klgr. Steinkohle ist nur 0,212 des theoret. Den Erfahrungscoeffic. fand Poncelet als Mittel aus 3 Maschinen zu 0,385.
13) Watt	Wasserhebungs-Maschine in London	Anderson u. Genyeis	dtto.	1,5	—	—	96	Der Reibungswiderst. d. Wass. in d. Leitungsröhre ist nicht mit einbegr. Siehe Genyeis l'art d'élever et distribuer les eaux.
14) Mittlerer Werth aus den gesammten Cornwall-M. in England, im Jahre 1811	Berühmte Wasserförderungsmaschinen der Minen in Cornwallis.	Mittel aus den Beobachtungen von Léan	Durch das gehobene Wasser nach dem Kolbenhub bestimmt	1 bis 3	—	—	55	Die Werthe sind von Nicolson citirt. Coriolis (Calcul de l'effet etc. p. 334) bemerkt hierzu: Da das gehobene Wasser nach dem Kolbenhub berechnet ist, so sind die Werthe mindestens um $^1/_5$ zu hoch angeschlagen. Aber als Abschätzung der, überhaupt disponibeln Arbeitsgröße, sind die Resultate deshalb nicht zu hoch, weil die Arbeitsverluste durch die Transmission u. Gestänge nicht in Rechnung gebracht sind.
1812				„	—	—	64	
1813				„	—	—	70	
1814 u. 1815				„	—	—	73	
1824				„	—	—	97	
1825		Henwood	dtto.	„	—	—	105	Siehe die Note von Henwood im Edinburgh-Journal. Januar 1829. — Die Bemerkungen von Coriolis gelten auch für diese letzteren 5 Werthe.
1826				„	—	—	103	
1827				„	—	—	115	
1828				„	—	—	126	

Wir bemerken bei dieser Tabelle, daß die meisten Maschinen zum Wasserheben, mit geradlinig auf- und niedergehender Bewegung, bestimmt sind. Nur die Maschinen Nr. 9, 10 und 12 sind rotirende Maschinen für industrielle Zwecke, deren Effect auch direct durch den Brems-Dynamometer bestimmt werden konnte *). Der Nutzeffect der Schöpfmaschinen ist durch die geförderte Arbeit, d. h. durch das Product aus dem Gewicht des gehobenen Wassers in die Höhe der Förderung gemessen worden. Die Leistung dieser Wasserförderungsmaschinen ist fast immer geringer, als die der rotirenden Fabriksmaschinen, weil die Behandlung der Maschine durch ungeschickte Arbeiter, die Verluste durch Reibung, Wasserverlust in den Pumpen rc. eine Verminderung des Nutzeffectes bedingen. Nur die Cornwall-Maschinen machen hiervon eine Ausnahme. Man ersieht aus der Tabelle, wie durch ununterbrochene Sorgfalt der Behandlung und Beaufsichtigung und durch Verbesserung in der Construction der Kessel und Maschinen, innerhalb 17 Jahren die Leistung von 1 Klgr. Kohle auf das Doppelte gesteigert wurde. Poncelet **) will diese englischen Angaben von 1827 und 28 allerdings nicht gelten lassen. Er rechnet heraus, daß bei den Maschinen mit Watt'schem System, wenn sie 110 Dynamoden per 1 Kilogr. Kohle geben sollen, der praktische Effect größer sein müßte, als der von ihm theoretisch gefundene. Dies erklärt sich dadurch, daß die Cornwall-Maschinen nach Watt'schem System mit 1,5 bis 2 Atmosphären arbeiten und namentlich die Kessel so construirt sind, daß nicht, wie Poncelet annimmt, die Hälfte der Wärme verloren geht. Für die Cornwall-Expansionsmaschinen geben die englischen Berichte bei 60 bis 100 Pferdekraft sogar 160 Dynamoden per 1 Klgr. Kohle an, wonach nur $^1/_3$ der Wärme verloren geht und der Erfahrungscoefficient bis 0,66 steigt. — Das gegen Poncelet, Morin und Köchlin ***) verhältnißmäßig sehr günstige Resultat, welches Prof. Dr. Hülße an der Maschine Nr. 10 fand, beweist nur, daß für die Hochdruckmaschinen, welche namentlich Poncelet zu Gunsten der Woolf'schen Maschinen nur einer sehr geringen Beachtung werth hält, die Coefficienten offenbar zu niedrig angegeben sind, da gegen die Genauigkeit der Hülße'schen Messung und Berechnung ****) kein Zweifel zu erheben ist. Dagegen bleibt das Resultat, welches die Woolf'sche Maschine Nr. 4 giebt, weit unter dem, gut bedienter Hochdruckmaschinen zurück. Dies zeigt allerdings hier nur die Unbrauchbarkeit der Woolf'schen Maschine zum Wasserheben und die Nothwendigkeit, als Schöpfmaschinen in Gruben die einfachsten und stärksten Maschinen anzuwenden. Selbst die Newcomen'schen Maschinen reichen da aus, wo schlechte und werthlose Kohle hinlänglich zu haben ist. Die Woolf'sche Maschine Nr. 4 giebt schon deshalb einen so geringen Nutzeffect, weil sie zu wenig kräftig ist. Dies bestätigt folgende Sätze, die sich aus der Betrachtung der ganzen Tabelle ergeben:

---

*) Siehe d. Art. Dynamometer.

**) Mécanique appliquée. Vol. II. §. 186.

***) E. und J. Köchlin im Bulletin de la société industrielle de Mulhouse Vol. IX.

****) Beschreibung und Berechnung eines Bremsversuches an einer oscillirenden Dampfmaschine, im Programm der k. Gewerbschule zu Chemnitz vom J. 1844. (Leipzig, Brockhaus.)

1) Der Nutzeffect einer Maschine ist um so günstiger, je größer unter sonst gleichen Umständen die Anzahl der Pferdekräfte ist.

2) Für Hochdruckmaschinen nimmt der Nutzeffect bis zu gewissen Grenzen mit der Höhe der Dampfspannung zu.

3) Expansionsmaschinen geben in der Regel einen höheren Nutzeffect als Maschinen ohne Expansion. Dieser Nutzeffect kann aber mit der Stärke der Expansion nur bis zu einem gewissen Grade gesteigert werden, da es für dieselbe eine, durch die Praxis in jedem Falle leicht bestimmbare äußere Grenze der Zweckmäßigkeit giebt.

Der Raum gestattet uns nicht, die Methode der Coefficienten weiter zu verfolgen und wir müssen uns aus gleichem Grunde versagen, die, in §. 2 (Anmerkung 2) angedeutete, geistreiche und weniger bekannte analytische Entwickelung von Coriolis über die mechanische Arbeit des Dampfes bei gegebener Wärmequantität, hier wiederzugeben *). Coriolis theilt auch eine Tabelle mit, welche von der Poncelet'schen Nr. VIII. in mehrfacher Hinsicht abweicht, worauf wir jedoch hier nur hinweisen wollen **).

Morin ***) behält seine Coefficiententheorie consequent bei, wogegen Poncelet in seiner Mécanique appliquée sowohl seine Theorie ****), als die von Pambour mittheilt *****), ein Zeichen der Anerkennung, welche der Pambour'schen Theorie auch von Navier †), Whewell ††), Wood †††), Crelle ††††) u. A. durch die Annahme derselben gezollt wird. Während Poncelet beide Theorien getrennt von einander giebt, geht Weißbach *†) noch weiter und stellt durch Combination beider Theorien eine Reihe von Gleichgewichtsgleichungen auf, welche als Consequenz der Pambour'schen Theorie zu betrachten und daher in Cap. V. u. VI. zu verweisen sind. Weißbach **†) bestimmt auch die Widerstände und Verluste der Dampfmaschine nicht durch Erfahrungscoefficienten, sondern durch Formeln, wodurch seine Theorie einen selbstständigen Werth erhält.

Die Berechnung der Heizkraft und des mechanischen Effectes einer bestimmten Brennstoffmenge führt uns aber unmittelbar zu den Apparaten, welche dazu bestimmt sind, die Wirkungsgröße der Brennstoffe in mechanische Arbeit zu verwandeln. Wir betrachten diese Apparate im folgenden Capitel, soweit es der Raum uns gestattet.

---

*) Coriolis, Calcul de l'effet des machines §. 78—81. p. 181—192.

**) A. a. O. S. 192.

***) Morin, Leçons de mécanique pratique.

****) Poncelet, mécanique appliquée. Vol. II. Sect. 7. §§. 163—193.

*****) A. a. O. Vol. II. Sect. 9—19.

†) Navier, Résumé des Leçons d'analyse et de mécanique. 1841.

††) Whewell, Lehrbuch der Mechanik. 5. Auflage.

†††) Wood's Werk über Eisenbahnen. 3. Auflage. 1838.

††††) Crelle's Journal der Baukunst. Bd. XXIII. u. ff.

*†) Weißbach, Mechanik. Bd. II. §. 356—359.

**†) A. a. O. Bd. II. §. 360—365 u. §. 370—374.

III.
Dampferzeuger oder Dampfkessel.

§. 25. Diejenigen geschlossenen Apparate, in welchen das Wasser mittelst äußerer Erhitzung und unter bestimmtem Druck in Dampf verwandelt wird, führen den gemeinschaftlichen Namen der Dampferzeuger (Generator) oder Dampfkessel (chaudière à vapeur; steam boiler). Die Art der Erzeugung des Dampfes ist im Allgemeinen von dem Zweck, zu welchem derselbe verwendet werden soll, vollkommen unabhängig. Doch unterscheidet sich der Dampfkessel vom Abdampfkessel *) wesentlich dadurch, daß bei ersterem der Dampf der Zweck der Operation, bei letzterem nur ein Nebenproduct ist. Die Dampfkessel sind daher immer geschlossen und mit einem Dampfrohr versehen, welches den Dampf an seinen Bestimmungsort leitet. Ein jeder Dampfkessel könnte unter sonst gleichen Umständen zu jedem Apparat verwendet werden, welcher durch Dampf getrieben wird oder den Dampf als Heizmittel ꝛc. verwendet. Jedoch bedingen der Zweck, die Localität, die Höhe der Dampfspannung ꝛc. gewisse Modificationen, welche die Kessel, ihrer Form nach, unter verschiedenen Gesichtspunkten erscheinen lassen. Man hat namentlich zwischen Hochdruck- und Niederdruck-Kesseln, sowie zwischen stationären und locomobilen Dampfkesseln zu unterscheiden und unter letzteren zeichnen sich wieder die Schiffsdampfkessel und die Locomotivkessel durch charakteristische Merkmale aus.

Der, allen Dampfkesseln gemeinschaftliche Zweck ist: in einer gegebenen Zeit eine bestimmte Dampfmenge von einer bestimmten Spannung bei möglichst kleinstem Brennmaterialaufwand und der möglichst größten Sicherheit vor Explosion zu liefern. Bei der Dampfmaschine namentlich, für welche der Dampfkessel den wesentlichsten Bestandtheil ausmacht, ist es wichtig, daß die geforderte Dampfmenge unfehlbar erzeugt wird. Dies hängt theils von der zweckmäßigen Anlage der Feuerung, theils von der Größe der Heizfläche des Kessels ab. Die Form desselben ist endlich hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit noch besonders zu berücksichtigen. Wir haben daher die Dampfkessel zu betrachten:

1) hinsichtlich der Form und deren Stabilität;
2) in Bezug auf die Verdampfungsfähigkeit und Heizfläche;
3) in Bezug auf Festigkeit und Sicherheit (Material, Stärke, Gewicht, Volumen).

Wir haben ferner die, zum Dampfkessel nöthige Feueranlage (Rost, Feuerkanäle, Schornstein und Einmauerung) und endlich die zum Kessel gehörigen Apparate oder die Kesselarmatur kennen zu lernen. Da sich jedoch die Grundsätze der Dampfkesselfeuerungen von den Grundsätzen nicht unterscheiden, welche überhaupt bei allen Feueranlagen zur Geltung kommen, so verweisen wir die Betrachtung der Dampfkesselfeuerung in den Artikel Heizung**).

---

*) Siehe d. Art. Abdampfen. Bd. I. S. 1. — Einen sehr ausführlichen Artikel giebt Prechtl in seiner Technol. Encyklopädie. Bd. I. S. 1.

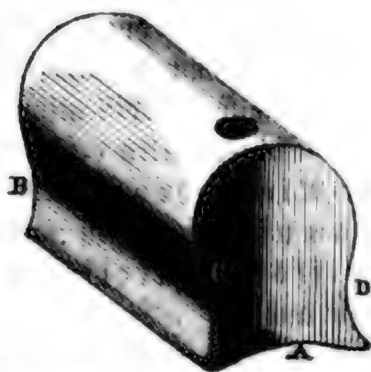
**) Bd. III. d. Lexicons.

1) Form der Kessel. Die Form an sich ist in Bezug auf die Verdampfungsfähigkeit des Kessels absolut gleichgültig. Es kommt nur auf die Heizfläche des Kessels, nicht auf seine Form an, so lange man den Kessel nur als Dampferzeuger betrachtet, ohne Rücksicht auf seine Stabilität zu nehmen. Allgemein aber ist jede Form gut, welche leicht herzustellen ist, hinlängliche Festigkeit besitzt, die erforderliche Heizfläche darbietet und bei welcher das Material zu einem stabilen Gleichgewichtszustand zwischen den inneren und äußeren Pressungen gelangen kann. Aus den vielen Arten von Kesseln, welche theils entworfen, theils ausgeführt wurden, heben wir nur folgende Formen hervor:

a) Unter den stationären oder eingemauerten Kesseln:

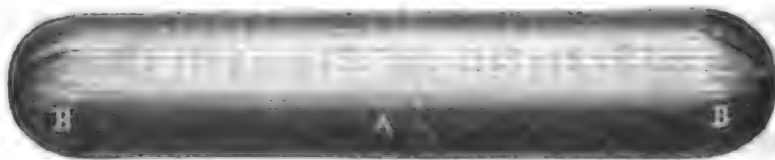
1) den Kofferkessel oder Wagenkessel (Waggon-Boyler) von Watt. Der älteste englische Dampfkessel, lediglich für Niederdruck bestimmt, hat für uns nur noch historisches Interesse. Für die früher gebräuchlichen Pressungen von 1 bis $1^1/_4$ Atmosphären war diese Form zwar tauglich, doch ist sie fortwährend der Gefahr des Ausstauchens und Zerdrückens ausgesetzt, da sie durchaus keine Stabilität besitzt, weshalb man den Kessel nach seinen Hauptdimensionen verankern muß. Den Anforderungen einer hinreichenden Dampfproduction entspricht der Kessel vollkommen, denn er bietet eine übermäßige Feuerfläche dar. Das Feuer streicht an der Bodenfläche A hin und sodann an den Seitenflächen BC, CD 2c. um den Kessel herum, ehe es in den Schornstein treten kann. Der Kesselstein (siehe §. 28) setzt sich hauptsächlich in den Winkeln der Boden- und Seitenflächen ab und läßt die Feuerfläche ziemlich frei. Trotz dieser Vortheile ist es schwer zu erklären, wie Watt auf eine solche Form fallen konnte, die bei uns nicht mehr, in England aber noch ziemlich oft in Kohlenwerken gefunden wird *).

I.



2) Der Cylinderkessel oder Walzenkessel mit äußerer Feuerung, ausschließlich für Hochdruck. Der einfachste, stabilste, billigste und darum der

II.

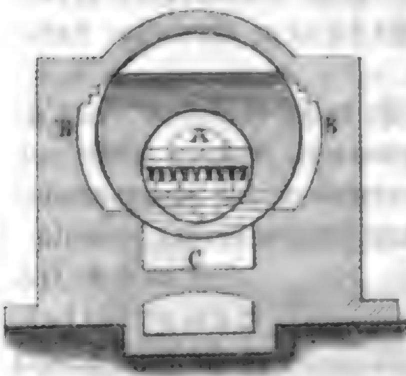


beste Kessel, in Deutschland und Amerika besonders heimisch. An dem vollkommen cylindrischen Kessel A werden die Endflächen BB am besten durch Halbkugeln gebildet. In diesem Fall bedarf der Kessel selbst für den höchsten Druck keiner Verankerung. Doch findet man oft nur Kugelsegmente oder elliptische Endflächen, oder auch Begrenzung durch ebene, sogenannte Kopfplatten. Die

*) Das Nähere über diesen Kessel siehe in Tredgold, on the steam engine und in Prechtl, Technol. Encykl. S. 536. Taf. 51. Fig. 1.

letztere Construction ist die unvortheilhafteste, weil sie am wenigsten Widerstand darbietet und bei Hochdruck eine Verankerung der Kopfplatten bedingt. Weil aber die Kugelsegmente B B noch immer ziemlich schwer herzustellen sind und den Kessel folglich vertheuern, so wenden namentlich die Amerikaner übergreifende Kopfplatten von Gußeisen an, während der übrige Kessel, wie gewöhnlich, aus Blech zusammengenietet ist. Man nennt diese Kessel Flue-boiler (Röhrenkessel) und wendet sie u. A. auf den Dampfschiffen des Mississippi an, wobei man ihnen einen Druck von 270 Pfd. per Quadratzoll (18 Atmosphären) zumuthet *). Die Feuerzüge bei dem Cylinderkessel sind gewöhnlich dieselben wie bei dem Watt'schen Kessel. Man führt das Feuer 3 Mal um den Kessel herum oder legt, wenn der Kessel groß ist, ein Feuerrohr oder Rauchrohr innerhalb desselben an, durch welches das Feuer zurückströmen muß, ehe es in die Seitenzüge tritt. Redtenbacher **) führt das Feuer nur einmal unter dem Kessel hin, läßt aber die ganze untere Kesselhälfte vom Feuer bestreichen, ein Verfahren, das sich ebenso durch Einfachheit als Zweckmäßigkeit empfiehlt. Siehe §. 26.

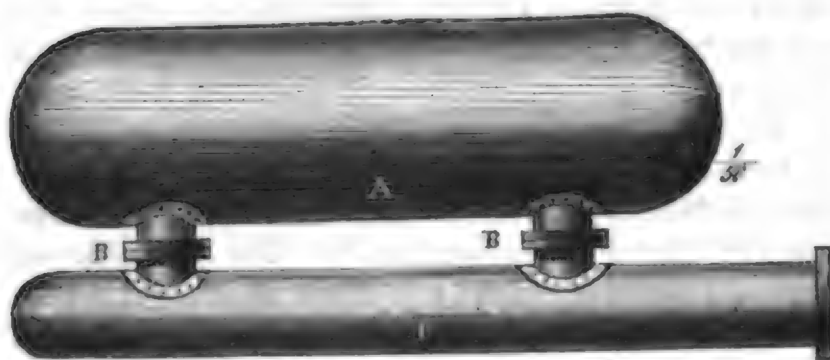
3) Cylinderkessel mit innerer Feuerung oder Cornwallkessel, besonders für Niederdruck. Ein Cylinder mit ebenen Kopfplatten, wie er in den Kupfergruben von Cornwallis fast durchgängig gebraucht wird. Das Rauchrohr der gewöhnlichen Cylinderkessel ist hier zum Heizrohr A so weit vergrößert, daß der ganze Feuerraum und Rost hinein verlegt werden kann. Nachdem das Feuer das Heizrohr durchstrichen hat, kehrt es durch die Seitenzüge B zurück und streicht zuweilen noch durch den Unterzug C unter dem Kessel weg, ehe es zum Schornstein gelangt. Diese Kessel haben durch die Cornwallmaschinen einen großen Ruf erhalten und werden auch bei Dampfschiffen angewendet, wo es auf Raumersparniß ankommt. In Bezug auf Dampfproduction und Brennmaterialersparniß sind diese Kessel vorzüglich, doch in Hinsicht auf ihre Stabilität unzweckmäßig, sogar gefährlich. Denn das zusammengeniethete große Heizrohr A erleidet nur einen äußeren, bedeutenden Dampf- und Wasserdruck, gegen welchen die Cylinderform einen schwachen Widerstand leistet, während sie gegen inneren Druck sehr stabil ist ***). Das Heizrohr ist also der Gefahr des Zerdrückens ausgesetzt und daher nur für Kessel anzurathen, welche mit Niederdruck arbeiten, zumal die Endflächen fast immer durch ebene Kopfplatten begrenzt sind.



4) Cylinderkessel mit Sieederöhren oder Bouilleurs für Hochdruck. Nach dem Erfinder Woolf'sche Kessel genannt. Dieser, besonders in Frankreich gebräuchliche Kessel hatte in früherer Zeit einen übertriebenen Ruf, in Bezug auf Dampfproduction. Ein oder mehrere (gewöhnlich zwei) Siederöhren C (siehe Fig. 1. S. 324) von geringem Durchmesser liegen unter dem Hauptkessel A und sind mit demselben durch eine oder mehrere Verbindungsröhren B in Communication. Redtenbacher ****) bringt nur eine

*) Privatmittheilung des Civil-Ingenieur P. Mehlgarten in New-York.
**) Resultate. Taf. XIX. Fig. 157—160.
***) Siehe §. 28.
****) Resultate. Taf. XIX. Fig. 163—166.

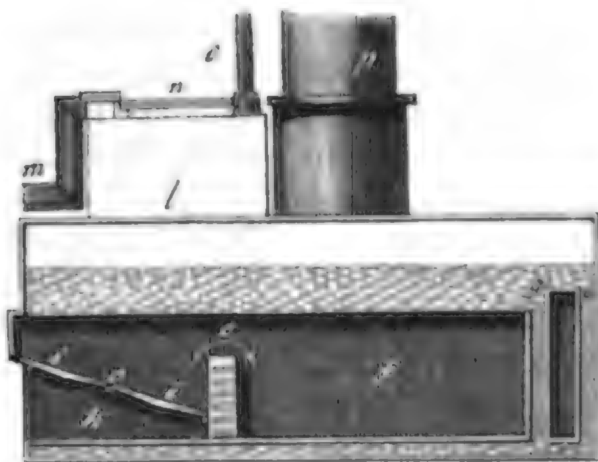
I.



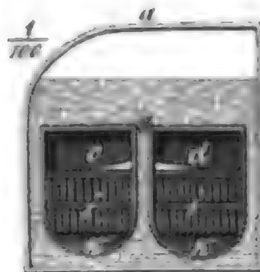
Verbindung an, wir halten aber, auf Grund der Wasser- u. Dampfcirculation, 2 Röhren für unerläßlich. Die Sieberöhren werden unmittelbar vom Feuer bestrichen, während der Hauptkessel nur mit abgekühlteren Gasen in Berührung kommt, folglich sehr geschont wird; die Sieberöhren könnten ferner, da sie eng sind, theoretisch ziemlich schwache Wände erhalten *); endlich ist der Kessel sehr stabil und vor Explosionen mehr gesichert als der Cornwallkessel — Vortheile, die durch den einen Nachtheil beeinträchtigt werden, daß diese Kessel, im Widerspruch mit der Theorie, eine geringe Dampfproduction und deshalb ziemlich bedeutenden Brennmaterialaufwand verursachen **). Je enger die Sieberöhren, desto geringer die Production. Der deutsche Cylinderkessel ohne Sieberöhren behält deshalb immer den Vorzug. Siede- und Rauchröhren vereinigt findet man in vielen Fällen an den Cornwallkesseln.

b) Locomobile Kessel. Das Charakteristische dieser Kessel ist, daß sie entweder leicht transportabel oder wenigstens nicht eingemauert, sondern freistehend sind. Hierher gehören die Kessel für Dampfschiffe, Locomotiven und transportable Dampfmaschinen (Locomobilen). Wir heben nur 2 Hauptformen hervor, nämlich:

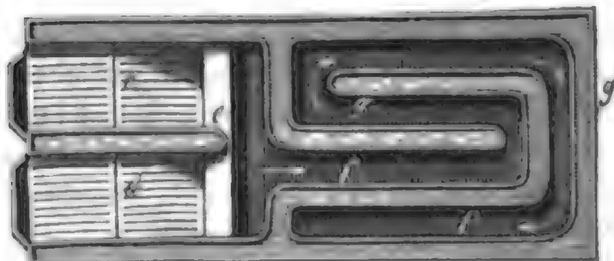
II.



III.



IV.

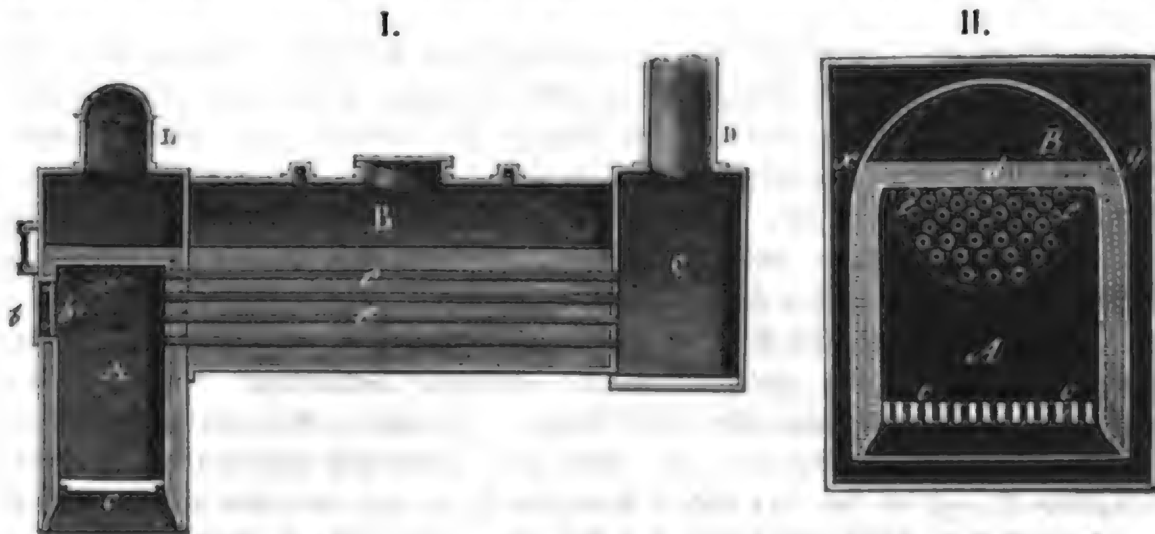


5) Den Schiffsdampfkessel, fast durchgängig mit Niederdruck, innerer Feuerung und senkrechten Wasserkammern. Das Charakteristische dieser Kessel ist eine sehr complicirte Form, nach welcher die Feuerung von mit Wasser gefüllten Wänden umgeben ist und die heißen Gase durch rectanguläre Kanäle, die im Kessel hin- und herlaufen, in einen gemeinschaftlichen Schornstein münden, da gewöhnlich mehrere Kessel neben einander angebracht sind. Fig. II. III. IV. zeigen einen englischen Kessel für ein Dampfboot von 120 Pferdekraft, welches 2 solcher

*) Siehe §. 28.
**) Siehe §. 27.

Kessel à 60 Pferdekraft besitzt. Fig. II. Längendurchschnitt, Fig. III. Querdurchschnitt am Rost, Fig. IV. Grundriß und Durchschnitt über dem Rost, von einem Kessel. Die äußere Form ist den Watt'schen Kofferkesseln ähnlich. c und d die 2 Feuerstellen eines Kessels a; e Feuerbrücke aus Stein; f Feuerkanäle oder Züge, durch die schmalen Wasserwände g gebildet. Die Flamme strömt in der Richtung der Pfeile durch dieselben und steigt sodann in den Schornstein p, der zwischen beiden Kesseln angebracht ist; i die geneigten Roste mit 2 Lagen gußeiserner Roststäbe; k Aschenfälle; l der Dampfraum; m Dampfrohr; n das Mannloch; o Ausblaserohr *). Die complicirte Form gestattet nur Niederdruck, hat keine Stabilität, ist also Biegungen ausgesetzt und liefert trotz der übermäßigen Feuerfläche nur ein verhältnißmäßig geringes Dampfquantum, wegen der schmalen Wasserwände, die denselben Nachtheil bieten als die engen Siederöhren**). Deshalb wendet man oft mit Vortheil die Cornwallkessel an, in Amerika für Hochdruck die Flue-Boilers. (Siehe Nr. 2 u. 3.)

6) Locomotivkessel oder Röhrenkessel für Hochdruck. Bieten auf dem kleinsten Raum die größte Feuerfläche und die schnellste und stärkste Dampfproduction, bei verhältnißmäßig geringem Brennstoffaufwand. Sie wurden zuerst in England, als die ausschließlichen Kessel für Locomotiven construirt und werden auch diesen Rang behaupten. Das Charakteristische dieser Kessel ist, daß das Rauchrohr eines gewöhnlichen Cylinderkessels hier durch eine große Anzahl



Heizröhren mit sehr geringem Durchmesser ersetzt wird. Der Kessel besteht aus 3 Haupttheilen, A, B und C. A ist der Feuerraum, oder die sogenannte Feuerbüchse (fire-box, boite à feu), deren rectanguläre Form sich den Kofferkesseln nähert. Sie besteht aus einem Doppelkasten aus Eisenblech, dessen Zwischenräume mit Wasser bis zur Höhe x y angefüllt sind, so daß das Feuer, welches nur durch die Heizthüre b auf den Rost c gebracht werden kann, fast ganz von Wasser umgeben. Die Feuerbüchse wird von c bis b_1 ganz mit Brennmaterial angefüllt. Die heißen Gase treten sodann in den cylindrischen Kessel B, indem sie die Heizröhren e durchstreichen, deren Anzahl sich bis auf 180 erstrecken kann, und treten sodann in die Rauchkammer C, um von da in den Schornstein D geführt zu werden. Da die Heizröhren selten über 12 Fuß lang sind, so schlägt das sehr

*) Die Bedeutung dieses Ausdrucks siehe unter Armatur. (§§. 29 u. 30).
**) Siehe §. 27.

intensive Feuer noch durch dieselben hindurch bis in die Rauchkammer C, so daß nicht nur die ganze Feuerbüchse, sondern auch die Heizröhren als directe Heizfläche zu betrachten sind. Der dadurch sehr rapid entwickelte Dampf sammelt sich im Dampfraum L und über der Wasserfläche an. In dieser Form kann der Locomotivkessel auch zu allen anderen Zwecken gebraucht werden, da seine Leistungen in Bezug auf die Heizfläche vorzüglich sind. Die Stabilität und Sicherheit der Röhren ist größer, als man erwarten sollte. Die engen Röhren sind zusammengeschweißt, oder gelöthet, und obgleich sie einen äußeren Druck erleiden, tritt hier doch der entgegengesetzte Fall, wie bei dem Kessel mit innerer Feuerung, ein. Denn, engen geschweißten Röhren ist der äußere Dampfdruck günstiger als der innere, weil sie durch denselben fester geschlossen werden *). Nur die rectanguläre Feuerbüchse ist nicht stabil. Sie kann nicht rund construirt werden, weshalb man sie sorgfältigst verankern und verstemmen muß, ohne sie jedoch haltbar und stabil erhalten zu können.

§. 26. 2) Verdampfungsvermögen des Kessels. Wir wissen bereits, daß die Größe der Heizfläche hierbei das Hauptelement bildet, d. h. derjenige Theil der Oberfläche des Kessels, welcher einerseits von der Flamme und von der erhitzten Luft, anderseits von dem im Kessel befindlichen Wasser berührt wird. Nach der Größe der Heizfläche richtet sich das Verhältniß der Wärmemenge, die in den Kessel eindringt, zu der Wärmemenge, welche durch den Brennstoff entwickelt wird. Die Heizkraft des Brennmaterials und die Brennstoffmenge, welche consumirt wird, sind gleichfalls wesentliche Elemente. Durch ihre Verbrennung auf dem Rost werden heiße Gase entwickelt, welche in den, im vorigen Paragraph erwähnten Feuerzügen, Röhren oder Canälen den Kessel bestreichen. Diese Canäle sind entweder aus einem Material, welches nicht leitet, während eine Canalwand immer vom Dampfkessel selbst gebildet wird: oder der ganze Canal wird vom Kessel gebildet. Es kommt also darauf an, zu untersuchen, unter welchen Verhältnissen man den Gasen die größte Wärmemenge entziehen kann, um diese zur Dampfentwickelung zu benutzen.

Bei den Dampfkesseln haben wir den einfacheren Fall, daß in dem zu erwärmenden Wasserraum eine gleichmäßige und constante Temperatur T herrscht, die nicht unter 100° und selten über 150° steigt. Die äußere Luft tritt mit geringer Temperatur t in den Feuerherd ein, doch wird durch den eintretenden Verbrennungsproceß sogleich eine sehr hohe Temperatur T_1 erzeugt (zwischen 800° u. 1000° entsprechend dem Kirschrothglühen des Eisens), welche sich theilweise dem Kessel mittheilt. Der Kessel wird erhitzt, während die Gase sich mehr und mehr abkühlen, je weiter sie in den Canälen ziehen, und endlich treten die Gase mit einer noch ziemlich hohen Temperatur t_1 (beiläufig 200 bis 300 Grad) in den Schornstein ein. Die Differenz $T_1 - t_1$ zeigt die Wärmemenge an, welche die Gase an den Kessel abgegeben haben und wodurch die Dampfbildung bewirkt wird. Die Größe t_1 giebt den absoluten Wärmeverlust (ungefähr $^1/_3$), und die Aufgabe der Rechnung ist es, zu untersuchen, unter welchen Voraussetzungen t_1 ein Minimum, also die den Gasen entzogene Wärmemenge $T_1 - t_1$ ein Maximum wird. Redtenbacher hat die Berechnung vollständig durchgeführt und das Endergebniß in seinen Resultaten **) mitgetheilt. Wir müssen uns hier darauf beschränken, die For-

*) Siehe §. 28.

**) Resultate. §. 228. S. 183.

mel selbst mitzutheilen, während wir die Ableitung am gehörigen Orte geben werden *). Es ist dabei vor Allem darauf aufmerksam zu machen:

1) Daß es zwar vortheilhaft ist, die Heizfläche (d. h. die Ausdehnung der Bodenfläche des Kessels, die mit der heißen Luft in Contact ist) möglichst groß zu machen, daß jedoch die Menge der dadurch gewonnenen Wärme nicht in directem Verhältniß mit der Heizfläche wächst, also daß z. B. bei doppelter Heizfläche nicht eine doppelte Wärmemenge in den Kessel dringen kann.

2) Die Länge der Feuercanäle hat eine naturgemäße Grenze, über welche man nicht hinaus gehen darf, ohne sich großen Täuschungen auszusetzen. Man irrt sehr, wenn man glaubt, daß der längste Feuercanal darum der beste sei, weil dadurch der Luft Gelegenheit gegeben würde, länger in den Canälen zu verweilen. Insofern dadurch ermöglicht werden kann, daß der Kessel in ausgedehnteren Contact mit den heißen Gasen kommt, daß also die directe Heizfläche vermehrt wird, ist allerdings ein langer Canal besser als ein kurzer. Aber ein längerer Contact, der Zeitdauer nach, wird dadurch nicht erzielt und ist, wie wir unter 3) sehen werden, auch vollkommen unnütz. Je länger der Canal, desto größer die Geschwindigkeit des Zuges, also desto kleiner die Zeitdauer der Berührung mit den Kesselwänden. Z. B. Ein Canal von doppeltem Querschnitt und halber Länge bietet dieselbe Heizfläche dar, als ein Canal von doppelter Länge, aber halb so großem Querschnitt, und da die heiße Luft in letzterem doppelt so schnell hindurchzieht, bleibt sich das Resultat vollkommen gleich. Dies beweist, daß nicht die Canallänge, sondern die Größe der Heizfläche das wesentliche Element ist **). Da aber die gewonnene Wärmemenge nicht im Verhältniß mit der Heizfläche wächst, so leuchtet ein, daß es eine Grenze geben muß, über welche hinaus die Canallänge vollkommen nutzlos ist.

3) Die Querschnittsform der Feuercanäle ist aus dem Grunde von Einfluß auf die zu gewinnende Wärmemenge, weil dadurch die Menge der erhitzten Luft bestimmt wird, welche mit dem Kessel in Contact kommt. Nur diejenige Luftschicht giebt ihre Wärme an den Kessel ab, welche den Kessel direct berührt. Da die Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, so geht die Wärme der durch einen gemauerten Canal ziehenden unteren Luftschichten verloren. Bei Rauchröhren geht ebenso die Wärme der inneren concentrischen Luftschichten verloren. Daraus folgt zunächst, daß man die Dimensionen der Feuercanäle und namentlich die Höhe der gemauerten Canäle und den Durchmesser der metallenen Rauch- oder Heizröhren nicht groß machen darf. Durch Canäle von kleinerem Querschnitt zieht die Luft allerdings rascher durch, aber es ist ein Erfahrungssatz, daß schnell ziehende Luft dieselbe Wärmemenge abgiebt, als langsam ziehende. Da man aber den gemauerten Canälen, gegenüber den Heizröhren, immer einen ziemlich großen Querschnitt geben muß, so folgt ferner die Regel, die Luftschichten nicht parallel ziehen zu lassen, sondern sie möglichst zu mischen, damit

*) Art. Heizung.

**) Einer unserer einsichtsvollsten, geistreichsten Constructeure bezeichnet die langen Feuerzüge als Vorrichtungen, „die Luft lange an der Nase herumzuziehen.“

sie der Reihe nach in Contact mit der Heizfläche kommen. Ecken, Biegungen und Feuerbrücken, an denen die Luft anprallt, sind daher vortheilhaft. Da aber trotz aller Vorsicht doch immer ein Theil der heißen Luft mit dem Kessel nicht in Contact kommen wird, so folgt abermals, daß die Länge der Feuerzüge ihre naturgemäße Grenze haben muß. Ein gemauerter Feuercanal, von verhältnißmäßiger Kürze, ziemlicher Breite und geringer Höhe *), so wie enge Heizröhren (wie bei den Locomotivkesseln) sind folglich die vortheilhaftesten Feueranlagen.

Diesen Regeln gemäß, führt nun Redtenbacher seine Rechnung durch und kommt zu folgendem Resultat. — Vorausgesetzt, daß der Brennstoff auf dem Rost vollkommen verbrannt wird, so daß daselbst aller Wasserstoff zu Wasserdampf und aller Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrannt werden kann, ist das Verhältniß zwischen der Wärmemenge, die in den Kessel eindringt, zu derjenigen, die durch den Brennstoff entwickelt wird:

$$(1) \quad \frac{W_1}{W} = \left[1 - \frac{s \cdot ml}{B \cdot H} \cdot (T - t)\right]\left[1 - e^{-\left(\frac{\lambda}{s} \cdot \frac{F}{m \cdot l}\right)}\right].$$

Die Bedeutung der Buchstaben ist: B, Brennstoffmenge in Klgr., welche per Secunde auf dem Rost verbrannt wird; H, Heizkraft von 1 Klgr. Brennstoff in Wärmeeinheiten; l kleinste Luftmenge, welche zum vollständigen Verbrennen von 1 Klgr. Brennstoff nöthig ist; ml die wirkliche Luftmenge in Klgr., welche bei der Verbrennung vorhanden ist; $s = 0{,}2669$ Wärmecapacität der Luft; $\lambda = \frac{1}{158}$ die Wärmemenge, welche durch 1 Quadratmeter Blechfläche in einer Secunde durchgeht, wenn die Temperatur-Differenz diesseits und jenseits der Fläche 1° beträgt; F die Heizfläche des Kessels; W die Wärmemenge, welche durch vollkommenes Verbrennen von B Klgr. Brennstoff entwickelt wird; W_1 die Wärmemenge, welche in den Kessel eindringt und Dampf bildet; T die Temperatur des Wassers im Kessel; t die Temperatur der in den Feuerherd einströmenden Luft; $e = 2{,}718$ die Basis der natürlichen Logarithmen.

Diese Formel vereinfacht sich bedeutend, wenn man numerische Resultate einführt. Für Steinkohlen ist nach Redtenbacher

$$\frac{l}{B} = 11,\ m = 2,\ H = 7000,\ T - t = 100$$

folglich wird

$$(2) \quad \frac{W_1}{W} = 0{,}919\left(1 - e^{-\frac{F}{900\,B}}\right).$$

Vermittelst dieses Ausdruckes findet nun Redtenbacher folgende Resultate **):

*) Es ist schon in §. 25 erwähnt, daß Redtenbacher den Feuercanal, diesen Regeln gemäß, nur einmal unter dem Kessel hinführt, aber die halbe Kesselfläche in Contact bringt. Die Querschnittsform findet man in den Resultaten, Taf. XIX. Fig. 157.

**) Resultate. S. 186.

$\frac{F}{B}$	500	600	840	1050	1260
$\frac{W_1}{W}$	0,391	0,447	0,538	0,630	0,665
Dampfmenge pr. 1 Klgr. Steinkohle	4,3klgr	4,9k	6,1k	6,93k	7,33k
Heizfläche pr. 1 Klgr. Dampf pr. Secunde	116□m	122□m	137□m	151□m	171□m

Das Verhältniß $\frac{F}{B}$ zwischen der Heizfläche und Brennstoffmenge giebt einen Maßstab für die Brauchbarkeit des Kessels und Zweckmäßigkeit der Feueranlage. Denn je größer die directe Heizfläche und je kleiner der verhältnißmäßige Brennstoffverbrauch, desto besser ist die Kesselanlage und desto größer der Quotient. Dies drückt das Verhältniß $\frac{W_1}{W}$ zwischen der nutzbaren und der verlorenen Wärme in Procenten aus. Je nach der Kesselanlage können also 40 bis 66% Wärme gewonnen und 60 bis 34% Wärme verloren werden. Demnach liefert 1 Klgr. Steinkohle 4,3 bis 7,3 Klgr. Dampf, im Mittel 5,8 Klgr. Die Größe der Heizfläche, bei welcher diese Production möglich ist, variirt zwischen 116 und 171 Quadratmeter. Je kleiner die Heizfläche, desto kleiner die Dampfproduction aus 1 Klgr. Steinkohle, also desto geringer der Nutzeffect des Brennstoffes. Als Mittelwerth ergeben sich 143 Quadratmeter Heizfläche für eine Dampfproduction von 1 Klgr. Dampf in der Secunde. Diese Angaben variirten bisher bedeutend. Der Grund davon ist aus der Tabelle ersichtlich. Denn für verschieden gute Heizanlagen müssen die Resultate verschieden sein.

Redtenbacher giebt folgende Mittelwerthe an *):

1) 1 Quadratmeter Heizfläche liefert
- in 1 Secunde 0,0067 Kilogramm Dampf
- „ 1 Minute 0,4 „ „
- „ 1 Stunde 24 **) „ „

2) Zur Production von 1 Klgr. Dampf
- in 1 Sec. sind erforderlich 150 Quadratmeter Heizfläche
- „ 1 Min. „ „ 2,5 „ „
- „ 1 St. „ „ 0,041 „ „

Aus Allem geht aber hervor, daß das Gesetz von der Größe der Heizfläche — das zuerst von Artzberger aufgestellt und in neuester Zeit von Cavé durch Versuche bestätigt ist — als einzig wesentliche Bedingung bei den Feueranlagen zu betrachten ist; während alle die Bemühungen, welche in der Länge, Form und Führung der Canäle, Form der Kessel ꝛc. das Fundamentalprincip suchten, sich als grundlos erwiesen haben. Demnach werden 2 Kessel von gleich großer Heizfläche auch dasselbe leisten, die Führung der Canäle sei welche sie wolle, sofern nur die Heizanlage keine verfehlte ist. Es ist aber schon oben bemerkt worden, daß

*) Resultate. §. 229. S. 186.

**) Nach Cavé's Versuchen, s. Bataille et Jullien (Traité des machines à vapeur), liefert 1 Quadratmeter Heizfläche per 1 Stunde nur 19 Klgr. Dampf.

man den Nutzen der Größe der Heizfläche nicht überschätzen darf, weil das Verhältniß der dadurch gewonnenen Wärmemenge nicht in dem Maße zunimmt, als die Größe der Heizfläche. Nach Redtenbacher's Formal wächst die Leistung des Kessels in Bezug auf den Wärmegewinn $\frac{W_1}{W}$ nur im Verhältniß 1 : 2, wenn die Heizfläche im Verhältniß 1 : 10 zunimmt. Wir erhalten dadurch abermals eine naturgemäße Grenze der Dimensionen, über welche man nur durch directe Versuche und durch Rechnung, aber nicht auf praktischem Wege Aufklärung erhalten konnte.

§. 27. Mit der Heizfläche steht das Verdampfungsvermögen oder die Größe der Dampfproduction im engsten Zusammenhang und hierbei kommt die Form der Kessel allerdings in Betracht. Die Größe λ (in der Formel (1) §. 26), oder das Wärmeleitungsvermögen hat ebenfalls Einfluß, denn sie bestimmt die Wärmemenge, welche die heißen Gase an den Kessel abgeben können. Doch sind darüber noch vielfach irrige Ansichten verbreitet *). Man müßte theoretisch allerdings annehmen, daß die gewonnene Wärmemenge abhängig sei von der Natur des Kesselmaterials in Bezug auf sein Leitungsvermögen, und von der Stärke der Kesselwände. Doch hat Péclet **) bereits durch Versuche bewiesen, welche Cavé ***) in neuester Zeit bestätigte, daß das Dampfproductions-Vermögen bei Dampfkesseln unabhängig sei von der Metalldicke und dem Material, unter der Voraussetzung, daß der Dampf nicht durch mechanische Mittel von der Kesselwand, an der er sich bildet, weggetrieben wird. Die Dampfbläschen bilden durch ihr schlechtes Leitungsvermögen selbst das Hinderniß einer vollkommenen Wärmeleitung und rufen eine Polaritätserscheinung in Bezug auf die Wärme hervor, welche der Polarisation der Platten einer galvanischen Batterie analog ist. Könnte der Dampf von seinem Entstehungsort augenblicklich entfernt werden, so daß die Kesselwände in jedem Augenblick vollkommen dampffrei wären, so würden allerdings die physikalischen Gesetze in ihre vollen Rechte treten, es würde überhaupt zu Gunsten der Dampfproduction viel mehr Wärme gewonnen werden.

Dieses für die Dampfproduction äußerst wichtige Moment giebt zugleich einen Maßstab zur Beurtheilung der Kesselform. Als Hauptregel gilt: den Kessel so zu construiren, daß der Dampf von seinem Entstehungsort sich leicht und möglichst schnell in den besonderen Dampfraum begeben könne. Kesselformen, bei welchen diese Regel nicht berücksichtigt ist, geben trotz der größten Heizfläche einen schlechten Nutzeffect — woraus abermals die Brauchbarkeit des einfachen Cylinderkessels (§. 25) folgt, während, wie Cavé bewiesen hat, die Kessel mit Bouilleurs aus diesem Grunde sehr unvortheilhaft für die Dampfproduction sind, so daß Cylinderkessel, von welchen man die Bouilleurs trennte, fast dieselbe Dampfmenge lieferten, als mit den Bouilleurs. Aus den Bouilleurs kann der Dampf nur schwer in den Dampfraum des Hauptkessels dringen, um so schwerer, je enger sie sind und je weniger Verbindungsglieder mit dem Hauptkessel vorhanden. Der Dampf legt sich folglich an die Röhren an, er pola-

---

*) Siehe Weißbach, Mechanik. Bd. II. §. 299 und 301.

**) Traité de la chaleur.

***) A. a. O.

risirt als schlechter Wärmeleiter die Kesselwände, läßt die äußere Wärme nicht durch und die Bouilleurs versagen zuletzt ihren Dienst. Wenn dieselben auch nicht vollkommen unnütz sind, so ist doch ihr Vortheil weit geringer, als man glaubt. Viel Verbindungsglieder helfen dem Uebel nicht ab, denn einestheils legt sich der Dampf auch an diesen fest, anderntheils sind sie wegen der ungleichen Temperatur rc. leicht dem Verbiegen und Abbrechen ausgesetzt und schwierig herzustellen. Viel Besseres würden die Bouilleurs leisten, wenn man durch mechanische Vorrichtungen den Dampf von ihren Wänden entfernen könnte. Im Allgemeinen folgt also die Regel: Je engere Heizrohre und je weitere Siederöhren, desto bessere Dampfproduction. In ersterer Hinsicht ist folglich der Locomotivkessel, in letzterer der einfache Cylinderkessel mit mäßigem Durchmesser, der empfehlenswertheste Kessel.

Die Productionskraft des Dampfkessels wird zuweilen auf Pferdekräfte, d. h. auf das Arbeitsvermögen des erzeugten Dampfes bezogen. Diese Bestimmungsart ist aber unzuverlässig und nur für normale Verhältnisse berechnet, da jede Dampfmaschine nach Umständen *), zu verschiedenen Zeiten sehr verschiedene Quantitäten Dampf consumiren kann, so daß man die zur Dampfproduction nöthige Heizfläche immer nach Klgr. Dampf bestimmen sollte. Früher nahm man 1 Quadratmeter Heizfläche per Pferdekraft an. Seitdem aber die Bouilleurs aufkamen, mußte man 1,5 Quadratmeter per Pferd rechnen, — das schlagendste Argument gegen die Bouilleurs. Grouvelle **) giebt folgende Verhältnisse an:

Für Hochdruck mit Condensation	1	Quadratmeter	Heizfläche	per	Pferdekraft
„ „ ohne „	1,3	„	„	„	„
„ Niederdruck mit „	1,4	„	„	„	„
„ alle station. Masch. am sichersten	1,5	„	„	„	„

Letztere Bestimmung ist von Redtenbacher und sämmtliche Angaben beziehen sich nur auf stationäre Maschinen. Bei Schiffskesseln rechnet man nur 1 Quadratmeter Heizfläche per Pferd. Bei diesen kann das Dampfquantum per Quadratmeter und Stunde auf 30—35 Klgr. Dampf, bei Locomotivkesseln sogar auf 100—130 Klgr. steigen ***), wie überhaupt bei letzteren die Verhältnisse ganz anders sind, als bei eingemauerten Cylinderkesseln. Die Heizfläche ist natürlich nur ein Theil der ganzen Kesseloberfläche. Bei Cylinderkesseln rechnet man gewöhnlich die halbe Oberfläche als Heizfläche, bei solchen mit Bouilleurs $^2/_3$ der Oberfläche. Redtenbacher ****) hat diese Verhältnisse, so wie die Frage nach den Dimensionen der Kessel unter folgende rationelle Regeln gebracht. Nennt man: F die Heizfläche des Kessels; D den Durchmesser des Hauptkessels; L die Länge desselben; d den Durchmesser einer Siederöhre; l die Länge derselben; m und m_1 die Verhältnißzahlen, welche ausdrücken, wie vielmal die Oberflächen des Hauptkessels und eines Siederohres größer sind, als die Heizflächen derselben, und i die Anzahl der Siederöhren, so ist allgemein:

$$(3) \quad D = \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot \frac{L}{D}\left[\frac{1}{m} + \frac{i}{m_1}\left(\frac{d}{D}\right)\left(\frac{L}{l}\right)\right]}}$$

*) Siehe Cap. V.

**) Grouvelle et Jaunez, Guide du chauffeur, 3. édit.

***) Weißbach, Mechanik. Bd. II. §. 301.

****) Resultate §. 230. S. 186.

Für Kessel ohne Siederöhren fallen die Werthe i, m_1, l und d weg, während m = 1,757, also die Heizfläche ungefähr $^4/_7$ der ganzen Kesselfläche werden soll, woraus folgt:

$$(4)\quad D = 0{,}75 \sqrt{\frac{D}{L} \cdot F}.$$

Für Kessel mit 2 Sieberöhren ist i = 2; $m_1 = 1$; m = 1,3; $\frac{d}{D} = 0{,}4$; $\frac{l}{L}$ = 1 zu setzen, und man hat

$$(5)\quad D = 0{,}446 \sqrt{\frac{D}{L} \cdot F}.$$

Das Verhältniß $\frac{L}{D}$ der Länge zum Durchmesser des Kessels nimmt man gewöhnlich zu 4 bis 6 an, so daß also im Mittel der Kessel eine Länge von 5 Durchmessern erhält. Für diese Annahme vereinfachen sich die Formeln zu

$D = 0{,}335 \sqrt{F}$ für Kessel ohne Sieberöhren und zu $D = 0{,}2 \sqrt{F}$ für Kessel mit 2 Sieberöhren; woraus man umgekehrt auch F finden kann, zu

$$(6)\quad F = \left(\frac{D}{0{,}335}\right)^2 \text{ und } F = \left(\frac{D}{0{,}2}\right)^2.$$

Endlich ist noch das Verhältniß zwischen dem Dampf- und Wasserraum bei den Kesseln zu berücksichtigen, deren absolute Größe für die normale Dampfproduction und Consumtion wichtig ist. Der Wasserraum der Kessel darf schon deshalb nicht klein sein, damit Unregelmäßigkeiten in der Zuführung des Speisewassers (welches das verdampfte Wasser ersetzt) keine auffallenden Aenderungen in der Temperatur und in dem Stande des Kesselwassers hervorbringen. Der Wasserstand namentlich muß immer hoch genug sein, damit die Feuerzüge niemals mit leerer Kesselwand in Berührung kommen, sondern nur mit wassergefüllten Räumen. Dies gebietet schon die Oekonomie der Feueranlage, noch mehr aber die Sicherheit, da nach den bis jetzt gemachten Erfahrungen die Kesselexplosionen fast immer durch glühende Kesselwände hervorgerufen wurden. Man läßt deshalb die Oberfläche des Wassers stets einige Zoll hoch über den Heizcanälen stehen. Der Dampfraum muß ebenfalls groß genug sein, damit theils hinlänglicher Dampfvorrath vorhanden ist, theils keine merklichen Schwankungen in der Dampfspannung eintreten. In der Regel macht man den Dampfraum mindestens 12 Mal so groß, als das pro Spiel aus demselben abgeführte Dampfvolumen *). Tredgold giebt die Regel **), den Dampfraum so groß zu machen, daß die Schwankung in der Dampfspannung nicht über $^1/_{30}$ betrage. Bourne verlangt ***) für jede Pferdekraft einen Wasserraum von 5 Cubikfuß engl. und einen Dampfraum von 3,2 Cubikfuß engl., so daß das Verhältniß des

*) Weißbach, Mechanik. Bd. II. §. 302.

**) Tredgold, Treatise on the steam engine und Mellet, Traité des machines à vapeur.

***) A treatise on the steam engine by the Artizan-Club, edit. by Bourne. — Bataille et Jullien, Traité sur les machines à vapeur.

Dampfraumes zum ganzen Kesselraum wie 0,4 : 1 wird. Man nimmt jedoch bei größeren Kesseln den Dampfraum nur zu $^1/_3$ des Kesselraumes an.

§. 28. Wir haben den Kessel endlich 3) zu betrachten in Bezug auf Festigkeit und Sicherheit, hinsichtlich des Materials, der Stärke und des Gewichtes ꝛc. Die Festigkeit des Kessels ist sein Widerstand, den er irgend einer Kraft entgegensetzt, die ihn zu zerstören droht. Demnach ist von Einfluß die Form, das Material, die Metalldicke, die Temperatur und die Richtung des Druckes. Die Form der Kessel in Rücksicht auf Stabilität ist bereits in §. 25 betrachtet. In dieser Hinsicht ist jede Form gut, bei welcher das Kesselmaterial in stabilen Gleichgewichtszustand mit den inneren Pressungen kommen kann. Die Kugelform wäre die beste, doch ist sie aus anderen Gründen unzulässig. Nach ihr folgt die Cylinderform mit halbkugeligen Endflächen, wie überhaupt alle runden Formen zu empfehlen sind. Die Richtung des Druckes ist ferner von Wichtigkeit. Theoretisch würde ein vollkommen kreisrunder Kessel dem äußeren Druck mehr Widerstand leisten, als dem inneren Druck *). Die Erfahrung lehrt aber das Gegentheil **), weil die Form niemals vollkommen rund ist. Demnach werden von außen gepreßte Röhren sehr leicht platt gedrückt, wenn sie unrund sind, während von innen gedrückte Röhren in diesem Fall fast noch ebenso stark widerstehen, als wenn sie cylindrisch wären. Der letztere Fall gilt für alle Cylinderkessel ohne Heizrohr, der erstere Fall kommt bei den Heizrohren vor. Doch ist hier zu unterscheiden, ob diese weit oder eng und ob sie mit oder ohne Naht sind. Weite Rohre ohne Naht (also gegossene oder mehrfach geniethete Rohre) sind gegen den äußeren Druck sehr ungünstig, weshalb in Frankreich die Regel gilt, daß diese Rohre noch einmal so dick zu machen sind, als Rohre für inneren Druck. Daraus folgt auch die Gefahr der Kessel mit innerer Heizung oder weiten Rauchrohren. Dagegen ist für enge, zusammengeschweißte oder gelöthete Rohre mit einer Naht der äußere Druck vortheilhafter als der innere, weil er bei hinreichender Wanddicke, das Rohr in der Naht nur fester zusammenschließt, ohne es platt drücken zu können. Aus diesem Grunde sind die engen Heizrohre der Locomotivkessel vortrefflich.

Die Metalldicke der Kessel und Rohre überhaupt muß proportional mit der Intensität des Druckes und dem Durchmesser wachsen. Je stärker der Kessel, desto besser, da, wie wir bereits in §. 27 erwähnten, die Wanddicke auf die Dampfproduction ohne merklichen Einfluß ist, die Festigkeit des Kessels aber dadurch vermehrt wird. Jedoch giebt die praktische Forderung, den Kessel nicht unnöthig schwer und theuer zu machen, hier eine natürliche Grenze an. Als Material wählt man fast durchgängig gutes und dichtes Eisenblech, nur zu engen röhrenförmigen Kesseln wendet man Gußeisen an, für enge Heizrohre Messing oder Kupfer. Die Kessel aus Kupfer herzustellen wäre vortheilhafter, Platin am Besten, doch verbieten sich beide Materiale wegen ihrer Kostspieligkeit von selbst. Nicht in Bezug auf Leitungsfähigkeit (welche nach §. 27 keinen merkbaren Unterschied macht), sondern in Rücksicht der Dauer und Haltbarkeit wäre Kupfer dem Eisen vorzuziehen. Denn letzteres kann die Temperaturverhältnisse,

---

*) **Weißbach, Mechanik. Bd. II. §. 305.**

) **Bataille et Jullien, Traité des machines à vapeur.

welchen ein Kessel ausgesetzt ist, auf die Dauer nicht aushalten. Es bildet sich Oxyd, Oxydul, Hydrat rc., die Kessel werden schwächer und schließlich durchgebrannt. Je heftiger das Feuer und je mehr die Kesselwände durch Dampfbläschen polarisirt werden, desto schärfer treten diese Nachtheile hervor. Aus letzteren Gründen sind auch die Bouilleurs besonders der Zerstörung ausgesetzt, so daß man sie, aller Theorie zuwider, möglichst stark machen muß. Die Locomotivkessel, welche das intensivste Feuer auszuhalten haben, werden am schnellsten durchgebrannt. Man sieht daraus, daß bei Beurtheilung der Festigkeit das Alter des Kessels wohl zu beachten ist. Als allgemeine Regel gilt: die dem directen Feuer ausgesetzten Kesseltheile stärker als alle übrigen zu machen und eine übermäßige Erhitzung zu vermeiden. Kessel mit großer Heizfläche bieten, abgesehen davon, daß sie Ersparniß an Brennmaterial herbeiführen, noch den Vortheil einer längeren Dauer, weil sie ein weniger intensives Feuer bedürfen. Ausnahme hiervon machen wiederum die Locomotivkessel, welche bei der größten Heizfläche das intensivste Feuer verlangen.

Ueber die Stärke oder Dicke der Kesselwand besitzen wir directe Vorschriften durch die betreffenden Regierungen, welche aus Gründen der Sicherheit ganz bestimmte Kesselstärken vorschreiben. Diese Vorschriften sind in Frankreich *), Belgien **), Preußen ***), Oesterreich ****) rc. mehr oder weniger verschieden. Die französische Verordnung, der sich Redtenbacher †) anschließt, giebt die Formel

$$\delta = 0{,}018\ D\ (n - 1) + 3,$$

wobei δ Wanddicke des Kessels in Millimetern, D Durchmesser des Kessels in Centimetern, n größte Spannung des Dampfes, welchem der Kessel beim Gebrauch ausgesetzt werden darf, in Atmosphären. Für kupferne Kessel gilt dieselbe Regel, gußeiserne Siederöhren sollen 5 Mal so dick sein, die dem directen Feuer ausgesetzten Blechwände werden 1,5 Mal, die blechernen Siederöhren 1,6 Mal und die Rauchrohre mit äußerem Druck 2 Mal so stark gemacht, als die französische Formel verlangt. Das preußische Gesetz schreibt für die Kessel vor

$$e = (2{,}71828^{0{,}005\,p} - 1)\ r + 0{,}1\ \text{Zoll},$$

wobei e die Wandstärke, r den Halbmesser in Zollen, p den Dampfüberdruck in Atmosphären bedeutet. Bei Siederöhren verlangt das Gesetz

$$e = (2{,}71828^{0{,}01\,p} - 1)\ r + 1/_3\ \text{Zoll}.$$

Für Rauchrohre von Eisenblech

$$e = 0{,}0067\ .\ d\sqrt[3]{p} + 0{,}05\ \text{Zoll},$$

wobei d der Durchmesser in Zollen, p der Ueberdruck in Atmosphären. Für Heizrohre von Messing, die nicht über 4 Zoll weit sein dürfen, ist

$$e = 0{,}01\ d\sqrt[3]{p} + 0{,}07\ \text{Zoll}.$$

Um die Berechnung zu ersparen, hat man ausgeführte Tabellen darüber ††). Zur Vermeidung einer übermäßigen Schwere des Kessels und einer zu großen

*) Ordonnances du roi, par Jullien. 1843.
**) Instructions, Bruxelles 1844.
***) Dieb, Verordnungen 1851.
****) Polytechn. Centralblatt von Hülße. Bd. VI. 1845.
†) Resultate. §. 233.
††) Redtenbacher, Resultate. S. 189. — Dieb, Dampfmaschine. — Weißbach, Ingenieur. S. 539.

Ungleichheit in der Spannung des Kesselbleches, übersteigt man nicht gern eine Kesselstärke von $1/2$ Zoll und wendet deshalb lieber kleinere und längere, oder zwei und mehrere Kessel, statt eines großen an. Im Allgemeinen kommt die Größe des Gewichtes und Volumens der Kessel bei stationären Maschinen nicht in Betracht, wohl aber bei Locomotiven und Dampfschiffen ꝛc. Aus Gründen der Transporterleichterung müssen diese so leicht wie möglich sein, dennoch soll ihre Heizfläche groß, das Feuer intensiv, die Festigkeit groß, der Rost klein sein ꝛc. Es consumiren sich daher eine Masse von Schwierigkeiten und entgegengesetzter Bedingungen, welche sämmtlich zu erfüllen kaum zu erreichen ist, obgleich trotzdem die Locomotivkessel als Muster gelten können.

Alle Sicherheitsmaßregeln und gesetzlichen Bestimmungen sind aber vergeblich, sobald die Kesselwände glühend werden. Denn einestheils wird dadurch die Festigkeit des Materials fast augenblicklich reducirt, wenn nicht ganz vernichtet, und anderntheils sind die glühenden Kesselwände der einzig haltbare Grund für die Kesselexplosionen. Wir können diese hier nicht behandeln und verweisen sie in einen besonderen Artikel *). Es sei nur bemerkt, daß man zur Vermeidung des Glühens vor Allem darauf zu sehen hat, daß der Wasserstand niemals so tief sinkt, daß die Feuerzüge mit dem Dampfraum in Berührung kommen. Ferner ist der Kesselstein (Absatz der erdigen Theile des Kesselwassers) möglichst zu vermeiden und augenblicklich zu entfernen. Endlich muß dafür gesorgt werden, daß die Polarisation der Kesselwand durch die Dampfbläschen nicht eintritt, weil man, bei dadurch verminderter Dampfproduction, verleitet wird den Kessel zu überheizen, dadurch die Siederöhren ꝛc. zu zerstören und die Sicherheit zu gefährden.

§. 29. Aus diesen Andeutungen geht schon hervor, daß der einfache cylindrische Kessel, wie wir ihn bis jetzt betrachtet haben, noch mancherlei nothwendige Zugaben erhalten muß, um ihn zum Gebrauch geschickt zu machen. Der Kessel bedarf einer passenden Einmauerung, geschickten Anlage des Rostes, der Feuerzüge, des Schornsteines ꝛc., kurz einer angemessenen Feueranlage, welche wir aber hier nicht betrachten können und in einen besonderen Artikel verweisen müssen **). Zur regelmäßigen Speisung des Kessels mit Wasser, zur Ableitung des Dampfes, zur Anzeige des Wasserstandes, des Dampfdruckes ꝛc. sind ferner an dem Kessel geeignete Vorrichtungen anzubringen, die man unter dem Namen der Kesselarmatur oder Kesselgarnitur zusammenfaßt. Die Erfindungsgabe namentlich der Franzosen hat in der Construction dieser Garnituren eine so lebhafte Thätigkeit entwickelt, daß wir unmöglich alle Vorrichtungen beschreiben können, welche theilweise unter dem Namen der Sicherheitsvorrichtungen angewendet werden, sondern uns hier nur auf das Nothwendigste beschränken müssen. Die nothwendige Armatur eines Kessels besteht: 1) aus dem Wasserspeiserohr, 2) dem Dampfrohr, 3) dem Wasserablaßhahn, 4) dem Dampfauslaßventil, 5) dem Schwimmer, 6) dem Feuerregister, 7) den Sicherheitsventilen, 8) dem Manometer, 9) dem Mannloch, wozu man noch 10) ein Wasserniveau, 11) 2 Probirhähne, 12) ein Luftventil, 13) eine Dampfpfeife und 14) ein Wasserausblaserohr oder Sicherheitsrohr hinzufügen kann.

---

*) Siehe d. Art. Explosion.
**) Siehe d. Art. Heizung.

Wir geben zunächst die Abbildung eines Kessels mit Bouilleurs *), welcher, neben der theilweise angedeuteten Armatur auch ein Bild von der Einmauerung und Feueranlage giebt.

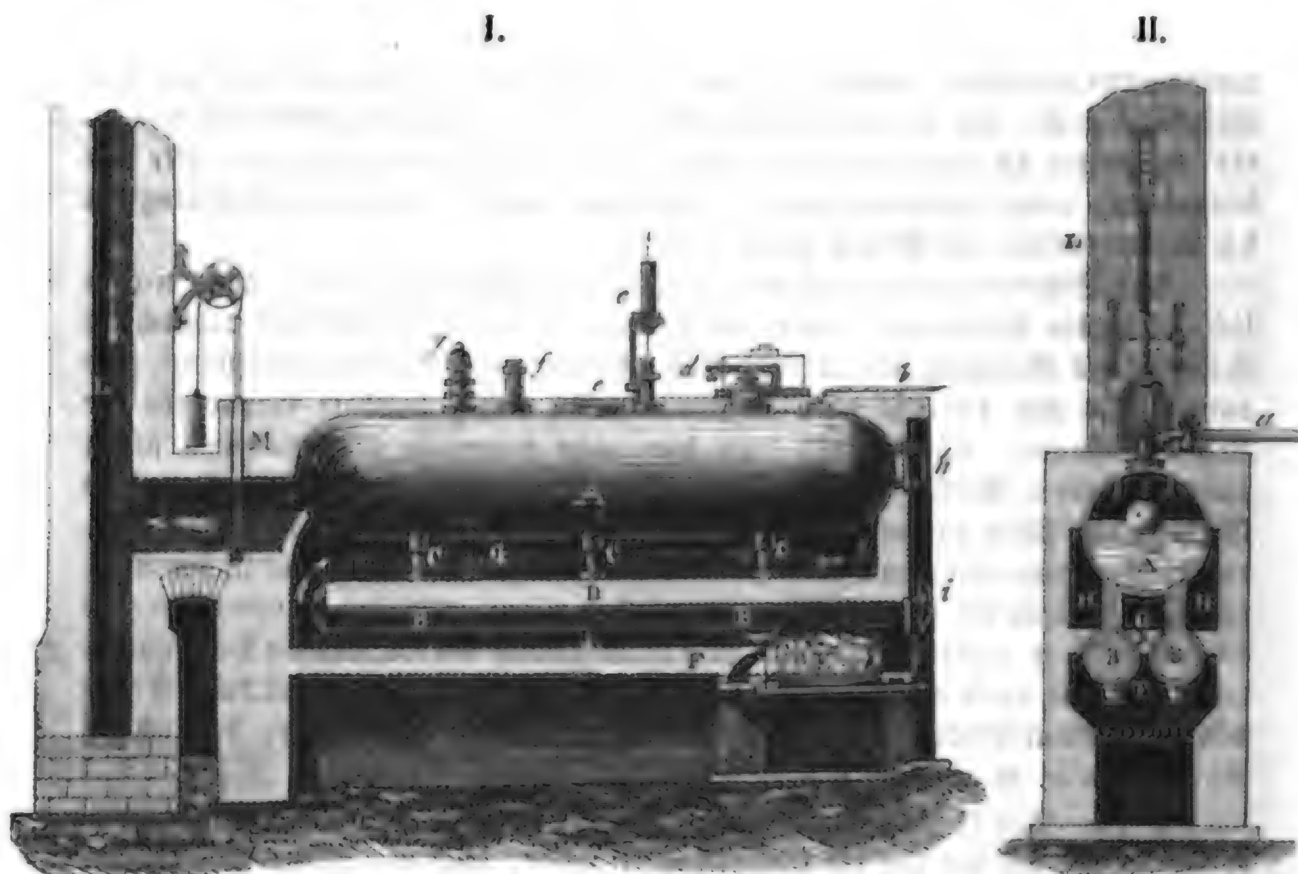


Fig. I. ist ein Längendurchschnitt der ganzen Kesselanlage, Fig. II. ein Querschnitt durch die Mitte des Kessels. A ist der Hauptkessel, B B sind 2 Siederröhren (Bouilleurs), deren jede mit A durch 3 Verbindungsröhren (Tubulures) C C verbunden ist. Der Kessel ist auf folgende, ziemlich complicirte Weise eingemauert, wie sie in Frankreich gebräuchlich ist **). Eine horizontale Scheidewand D, in der Höhe der Bouilleurs, und 2 vertikale Scheidewände in der Ebene der Verbindungsröhren C theilen den Feuerzug in 4 Canäle F, G, und H H (Fig. II.). Die Flamme, welche auf dem Rost E entwickelt wird, streicht über die Feuerbrücke F in dem ersten Horizontalcanal hinterwärts und umspielt beide Siederöhren; wird am hinteren Ende der Bouilleurs in den mittleren Obercanal G geführt, streicht in demselben unter dem Hauptkessel vorwärts, bis zum vorderen Ende desselben, theilt sich daselbst in 2 Theile und kehrt durch die äußeren Canäle H, H (Carneaux) zum hinteren Theile des Hauptkessels zurück, um sich in die Esse L zu begeben. Ein Feuerregister M, bestehend in einer, durch ein Gegengewicht äquilibrirten Eisenplatte, verengert, erweitert oder schließt den Austrittscanal und dient folglich zur Regulirung des Zuges (tirage).

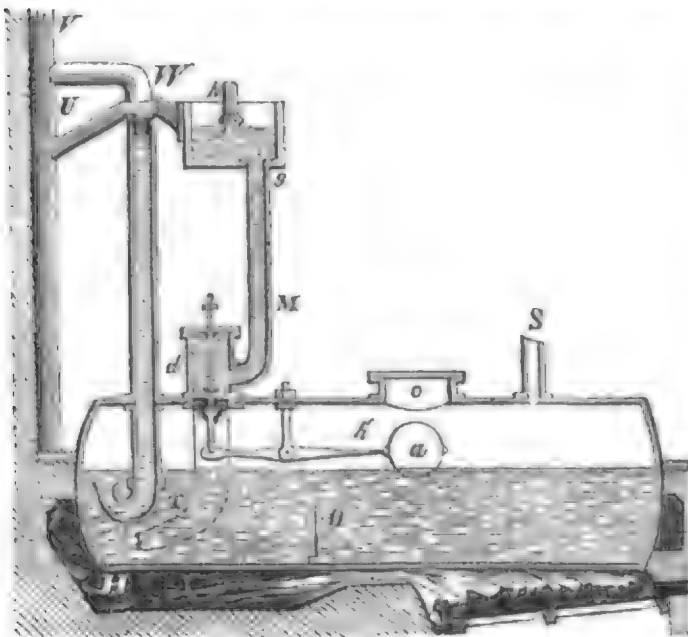
*) Aus Delaunay, mécanique. Vol. II. §. 438.

**) Redtenbacher (Resultate. Taf. XIX. Fig. 163—166) giebt eine einfachere und zweckmäßigere Feueranlage für Bouilleurs-Kessel, mit nur 3theiligem Canal an.

Die in den Figuren angedeutete Kesselarmatur ist folgende. a (Fig. II.) ist das Dampfrohr, um den im Kessel gebildeten Dampf nach der Maschine abzuleiten. Es ist mit einem Hahn zum Abschließen versehen. b ist das Wasserspeiserohr, durch welches das zu verdampfende Wasser vermittelst einer Pumpe in den Kessel gedrückt wird. c der Schwimmer mit Zeiger=Apparat, um die Höhe des Wasserstandes im Kessel anzugeben. d ein Sicherheitsventil, zur Verhütung einer übermäßigen Dampfspannung. e das Mannloch zur Räumung des Kessels vom Kesselstein ꝛc. f ein Rohr, welches den Dampf zum Manometer führt, zur Angabe der Höhe der Dampfspannung. g Dampfpfeife für Signale, zugleich als Allarmschwimmer dienend, im Fall der Wasserstand zu niedrig wird. h Wasserniveau aus Glas, ebenfalls zur Beurtheilung der Wasserhöhe. i Wasserablaßvorrichtung, zugleich als Mannloch zur Räumung der Sieteröhren. Diese Apparate müssen wir noch näher betrachten und fassen sie unter folgenden Rubriken zusammen:

1) Apparate zur Speisung und Entleerung des Kessels.
2) Apparate zur Angabe der Höhe des Wasserstandes.
3) Apparate zur Angabe der Höhe des Dampfdruckes.

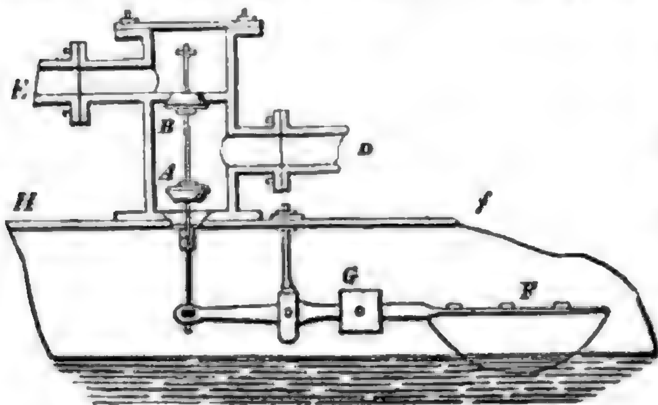
1) Das Speisen des Dampfkessels mit Wasser muß so gleichförmig wie möglich vor sich gehen und mit möglichst reinem und warmen Wasser erfolgen. Man soll deshalb das Speisewasser vorwärmen, indem man das Speiserohr durch den Schornstein führt, oder den abgehenden Dampf hindurchleitet, oder das Wasser des Condensators dazu benutzt. Wird in dem Kessel nur Dampf von niederem Druck erzeugt, dessen Spannung nicht mehr als $1^1/_4$ Atmosphäre beträgt, so genügt zur Einführung des Wassers ein einfaches Rohr von solcher Länge, daß die Wassersäule in demselben den Ueberdruck von $^1/_4$ Atmosph. überwinden kann. Dieses Speiserohr endigt dicht über dem Kesselboden und möglichst entfernt vom Feuerherd. Wenn das zuzuführende Wasser dabei freien Zufluß hat, so würde dasselbe, wenn keine Regulirung stattfände, im Uebermaß dem Kessel zufließen. Um also nur soviel Wasser zuzuleiten, als zur Dampfbildung nöthig ist, wendet man einen Schwimmer an (eine hohle Metallkugel oder ein Kalk= oder Sandsteinstück ꝛc.), welcher mit dem Wasserspiegel im Kessel sinkt und steigt und durch eine passende Vorrichtung den Wasserzufluß sperrt oder öffnet. Beistehende Figur *) zeigt einen Niederdruckkessel mit Speiseapparat M. g ist der Wasserbehälter, welchem das Speisewasser durch das Rohr h ununterbrochen zugeführt wird. M u. T sind die Speise-



*) Siehe Prechtl's technol. Encykl. Bd. III. S. 552 u. 553. Taf. 51. Fig. 1, 2, 3.

röhren, von einer Gesammthöhe von circa 8 Fuß. Zwischen beiden Röhren befindet sich der Ventilsitz d, mit einem Ventil, welches durch den Schwimmer a, vermittelst des Hebels b gehoben und gesenkt wird. Um das Spiel des Ventils beobachten zu können, geht ein Zeiger durch den Deckel des Ventilsitzes d. So wie das Niveau des Wassers im Kessel sinkt, fällt der Schwimmer a herab, öffnet das Ventil in d, und es strömt so lange Wasser in den Kessel, bis durch das Aufsteigen des Schwimmers das Ventil geschlossen wird, wodurch das sich in g ansammelnde Wasser gezwungen wird, durch ein Seitenrohr U abzufließen.

Bei Dampfkesseln mit hohem Druck würde die Röhre M zu lang werden. Man kann also den freien Wasserzufluß nicht anwenden, sondern muß das Speisewasser durch eine Speisepumpe in den Kessel führen, was ohnehin geschehen muß, wenn man das Condensationswasser benutzen will. Der Speiseregulator hat dabei folgende Einrichtung *). H f ist ein Theil des Durchschnittes der Kesselwand, F der Schwimmer, G der Hebel mit Balancirgewicht, durch welchen die Ventile A und B abwechselnd geschlossen und geöffnet werden. In den gemeinschaftlichen Ventilsitz mündet das Wasserzuflußrohr der Druckpumpe D und das Wasserabflußrohr E. Sinkt der Wasserspiegel, so öffnet sich A, B schließt sich und das Speisewasser tritt durch D in den Kessel ein. Ist der Normalwasserstand erreicht, so hebt sich der Schwimmer, schließt dadurch A, öffnet B, und das, durch D eintretende Wasser findet durch E freien Abfluß, ohne benutzt zu werden. Besser ist es jedoch, man verläßt sich auf diese Vorrichtungen nicht und regulirt den Wasserzufluß nach Maßgabe der Apparate, welche den Wasserstand anzuzeigen haben, mittelst Anhängen und Abstellen der Druckpumpe, welche immer durch die Maschine selbst bewegt wird. Bei normalem Gang der Maschine soll die Speisepumpe immer in Thätigkeit sein.



Zum Ablassen des ganzen Wassers aus dem Kessel (bei der Reinigung desselben vom Kesselstein oder bei Reparaturen), genügt eine einfache Oeffnung am Boden des Kessels, über dem Feuerrost, in welche ein konischer Stahlzapfen von außen verkittet wird. Da aber das Oeffnen des Kessels, das Einsteigen durch das Mannloch ꝛc. ziemlich umständlich ist, so bringt man in den Fällen, wo das Speisewasser an sich schon trübe ist, ein Ausblaserohr mit Charnier an, welches bis ziemlich auf den Kesselboden reicht, sich dort trichterförmig erweitert und von außen mit einem Hahn verschließbar ist. Um den Kessel durch dieses Rohr von Schlamm zu reinigen, unterbricht man die Feuerung und öffnet den Hahn, sobald nur noch eine geringe Dampfspannung vorhanden ist. Das ganze Kesselwasser wird sodann durch den Dampfüberdruck selbst aus dem Kessel getrieben, ein Verfahren, das besonders bei den Seedampfschiffkesseln öfters nöthig wird, weil diese mit Seewasser gespeist werden.

Das Mannloch oder Fahrloch ist eine runde oder besser elliptische Oeff-

*) Prechtl, Techn. Encyk. Bd. III. S. 354. Taf. 51. Fig. 5.

nung des Kessels zum Einsteigen in denselben. Es wird durch eine gußeiserne Platte mit Schrauben, Bügel und Kitt auf geeignete Weise fest verschlossen.

Das Feuerregister besteht gewöhnlich in einer einfachen durch Gewicht balancirten Gußeisenplatte, welche man mehr oder weniger tief in die Feuercanäle einstoßen kann und dadurch den Zug vermindert, oder ganz abschließt. Watt erfand für Niederdruckkessel einen Selbstregulator *), welcher in einem Schwimmer bestand, der mit dem Dampfdruck stieg oder fiel. Henschel in Cassel brachte sogar eine Vorrichtung an **), wodurch ein Schwimmer im Fall von Wassermangel den ganzen Feuerrost selbstthätig umwarf und dadurch die Feuerung unterbrach. Doch sind alle solche Apparate unzuverlässig und darum verwerflich.

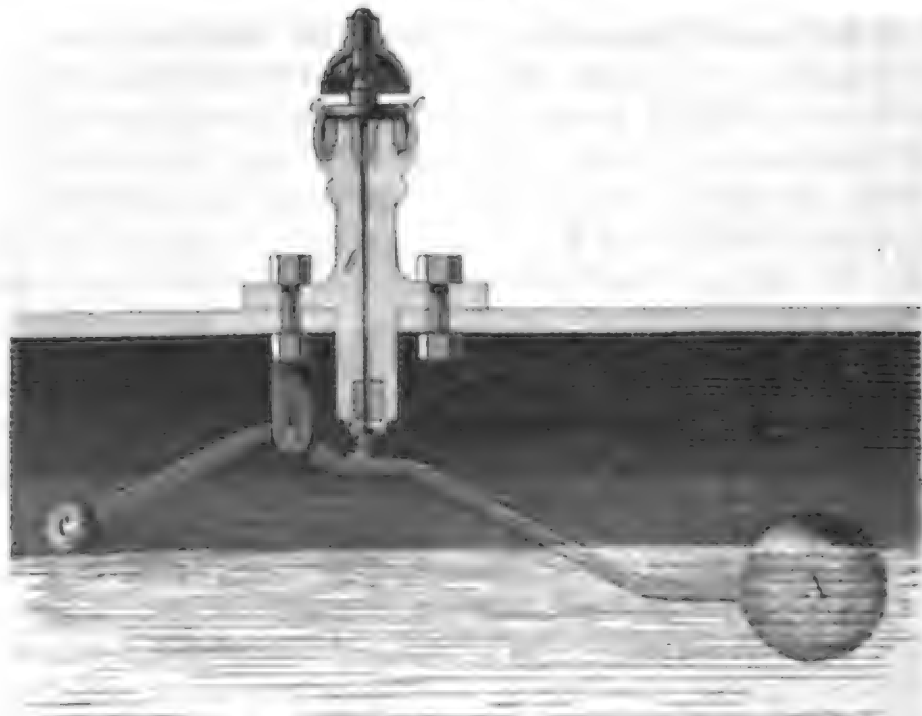
Zum Auslassen des Dampfes sind endlich noch 2 Ventile nöthig: das Absperrventil, zum Oeffnen und Schließen des Dampfrohres, welches zur Maschine führt, und das Auslaßventil, zum Entleeren des Kessels von Dampf. Letzteres ist mit einem Rohre verbunden, welches in den Schornstein oder in die freie Luft geführt wird. Das Schließen dieser Ventile geschieht nicht ohne Schwierigkeit, sobald im Kessel ein bedeutender Dampfdruck stattfindet, weil der Querschnitt der Ventilöffnung ziemlich bedeutend ist. Aus diesem Grund muß man auch sorgen, daß sie sich nicht von selbst öffnen können. Man beschwert daher entweder diese Ventile mit Gewichten, oder versieht sie mit einer Schraube, durch welche sie gehoben und gesenkt werden, und wendet am besten Doppel-Ventile, mit 2 Ventilsitzen an, welche von außen und innen gleichen Dampfdruck erleiden und daher ohne Kraftaufwand zu schließen sind. Wir werden diese Kronenventile bei den Ventilsteuerungen kennen lernen. Das Dampfrohr muß vom Kessel aus direct aufsteigen, und innerhalb desselben umgebogen und vom Wasser abgewendet sein, damit das Fortreißen des Wassers mit dem Dampf möglichst verhindert wird, oder das fortgerissene Wasser in den Kessel zurückfließen kann. Dies gilt besonders für Expansionsmaschinen, bei welchen regelmäßige Unterbrechungen des Dampfzuflusses eintreten, weshalb sich bei jedem neuen Dampfausfluß ein Wasserkegel bildet, der mit seiner Spitze nach dem Dampfrohr steigt. Man hat deshalb unter demselben eine Schutzplatte, ein Sieb oder sonst geeignete Vorrichtungen anzubringen, um das Fortreißen des Wassers zu hindern. Der Weg des Dampfes vom Kessel zur Maschine soll möglichst kurz, ohne Ecken, ohne Richtungs- und Querschnittsveränderungen und vor Abkühlung möglichst geschützt sein. Die Weite des Dampfrohres ist nach Redtenbacher immer $^{1}/_{5}$ von dem Durchmesser des Dampfcylinders.

§. 30. 2) Der Haupt-Apparat zur Angabe der Höhe des Wasserstandes, der Schwimmer, ist bereits in §. 29 erwähnt. Man soll den Schwimmer nicht zu leicht machen, damit er der Bewegung der Wasserwellen nicht folgt. Er besteht daher gewöhnlich aus Eisen oder Stein und ist an einem gleicharmigen Hebel befestigt, dessen anderer Arm ein Gegengewicht trägt. Dieser Hebel muß leicht beweglich und mit einem Zeiger versehen sein. Steht er horizontal, so ist der Wasserstand normal. Zuweilen verbindet man mit dem Schwimmer eine Dampfpfeife, welche sich öffnet, sobald der Schwimmer mit dem Wasserspiegel zu tief gesunken ist. Umstehende Figur giebt die Abbildung eines solchen Allarmschwimmers ***), welcher den Vortheil bietet, daß keine Zug-

*) Prechtl, Techn. Encykl. Bd. III. S. 561. Taf. 51. Fig. 1.

**) Polyt. Centralblatt 1846. — Weißbach, Mechanik. Bd. II. S. 573.

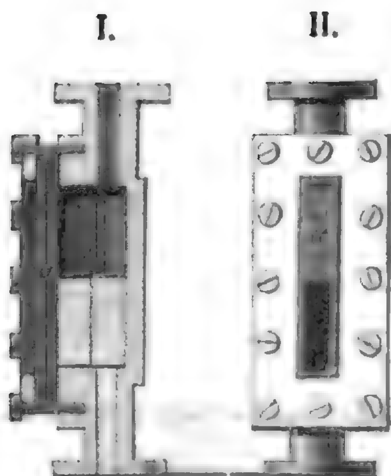
***) Aus Delaunay, Mécanique.



stange ꝛc. durch die Kesselwand geführt, folglich keine Stopfbüchse nöthig ist, die bei hoher Dampfspannung immer zu vermeiden ist. Dagegen hat dieser Apparat den Nachtheil, daß man ihn nicht controliren kann, daß er also keine hinreichende Sicherheit darbietet. — a ist die Oeffnung, durch welche der Dampf eintritt und das Signal bewirkt, sobald der Schwimmer A zu tief gesunken ist, dessen Hebelarm in B seinen Drehpunkt und in C ein Gegengewicht hat. b ist das, bei a durch einen konischen Zapfen für gewöhnlich verschlossene Dampfröhrchen, welches zur Signalpfeife führt. Diese hat eine kreisrunde, durch eine Scheibe gebildete feine Oeffnung c c, durch welche der Dampf entweicht, dabei gegen die scharfe Kante der Glocke d stößt, sich dort nach innen und außen zertheilt, die Glocke in Vibration versetzt und dadurch den bekannten durchdringenden Ton hervorbringt.

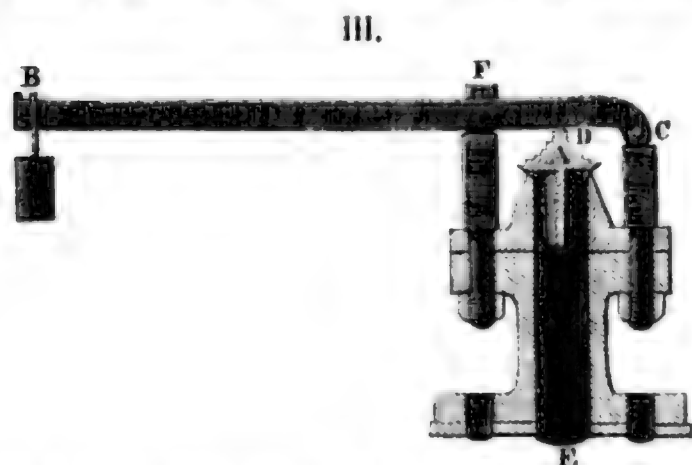
Die Probirhähne, deren man 2 an der oberen Kesselwand, oder an der Kopfplatte anbringt, sind mit Röhren in Verbindung, deren eine 2 Zoll unter, und die andere 2 Zoll über dem Normalwasserstand einmündet. So lange der Wasserspiegel zwischen diesen Mündungen steht, wird bei Eröffnung des Wasserhahnes immer Wasser, bei der Oeffnung des Dampfhahnes immer Dampf ausströmen. Geben beide Hähne Dampf, so hat man Wasser nachzupumpen, geben beide Wasser, so hat man die Pumpe auszuhängen. Doch zeigen sie den Wasserstand nur dann sicher an, wenn die Wallungen des siedenden Wassers im Kessel nicht zu groß sind, weshalb man die Rohre mit einem Sieb umgiebt, um die Wasserwellen zu brechen. Das Wasserniveau oder die Wasserstandsröhre besteht ebenfalls aus einem Dampf- und Wasserhahn, welche aber durch eine Glasröhre verbunden sind, so daß man beim Oeffnen der betreffenden Hähne den Wasserstand unmittelbar beobachten kann. In der Fig. I. S. 336 ist ein solches Rohr bei h abgebildet. Wegen der Zerbrechlichkeit und des leichten Verstopfens und Trübewerdens sind die Glasröhren nicht vortheilhaft und werden besser durch Glasplatten ersetzt, welche ein, vorn aufgeschnittenes massives Wasserstandsrohr aus Messing bedecken *). —

*) Siehe Scholl, Führer des Maschinisten. §. 96 bis §. 98.



Beistehende Fig. I. zeigt den Vertikaldurchschnitt, Fig. II. die vordere Ansicht dieses Wasserstandszeigers. Der Messingkasten communicirt unten mit dem Wasserraum, oben mit dem Dampfraum des Kessels und ist vorn mit 2 Glasplatten a a verschlossen.

3) Zur Angabe der Maximalhöhe des Dampfdruckes dient das Sicherheitsventil. Dasselbe bietet allerdings innerhalb gewisser Grenzen Sicherheit dar, doch ist man sehr im Irrthum, wenn man glaubt, daß dieser Apparat vor Explosionen schützt. Das Sicherheitsventil ist nur ein mit Gewichten beschwertes Dampfventil, welches sich öffnet, sobald der Dampfdruck höher steigt, als die Belastung des Ventiles, sammt dem Atmosphärendruck, beträgt. Die Anforderungen, welche man an ein Sicherheitsventil stellt, sind: schmaler Ventilsitz, scharfe dampfdichte Auflage, angemessene Größe des Querschnittes, leichte Beweglichkeit. Konische Ventilsitze sind nicht zweckmäßig; eine vollkommen ebene Platte, welche auf einem ebenen, fast schneideförmigen Ventilsitz dampfdicht aufliegt, ist die zweckmäßigste Construction. Beistehende Figur III. zeigt ein französisches Sicherheitsventil*). Das Ventil A sitzt auf dem zugeschärften Ende eines kurzen Dampfrohres, welches bei E unmittelbar mit dem Kessel communicirt. Ein eiserner Hebel B C, welcher bei C seinen Drehpunkt und bei F seine Geradführung hat, stemmt sich bei D gegen den Ventilkopf und wird durch das Gewicht B gegen diesen Punkt mit vorher bestimmtem Druck niedergepreßt. Das Gewicht ist so gewählt, daß es vermittelst des Hebels auf das Ventil A einen ebenso großen Druck ausübt, als der Dampf im Maximum der Spannung, welche er im Kessel gesetzlich erreichen darf. Ist Q die Größe des Gewichtes bei B, L die Entfernung B C, l die Entfernung C D, q das Gewicht des Hebels im Schwerpunkt desselben, welcher um die Entfernung λ vom Drehpunkt C absteht und x die Kraft, mit welcher das Ventil niedergepreßt werden soll, so ist



$x \cdot l = L \cdot Q + \lambda \cdot q$ oder $x = \frac{L}{l} \cdot Q + \frac{\lambda}{l} \cdot q$, oder per Quadrateinheit, wenn der Querschnitt des Dampfrohres Ω ist

$$\frac{x}{\Omega} = \left(\frac{L}{l} \cdot Q + \frac{\lambda}{l} \cdot q\right) \cdot \frac{1}{\Omega} \cdot$$

*) Nach Delaunay, Mécanique.

Bei Vernachlässigung der Breite der Auflage des Ventiles ist die Dampfspannung S im Moment der Oeffnung des Ventiles

$$S = \left(\frac{x}{\Omega} + 1\right).$$

Nennt man d den Durchmesser des Dampfrohres vom Querschnitt Ω in Centimetern, N die Anzahl der Pferdekräfte des Kessels, für welchen das Ventil bestimmt ist, n das Maximum der Spannkraft in Atmosphären, welche im Kessel gesetzlich eintreten darf, und x die Belastung des Ventiles in Kilogr. für jede Pferdekraft des Kessels, so ist nach Redtenbacher *) für

n =	1,5	2,4	3,6	4,8	6 Atmosphären
d =	$2,8\sqrt{N}$	$1,89\sqrt{N}$	$1,64\sqrt{N}$	$1,43\sqrt{N}$	$1,3\sqrt{N}$ Centim.
x =	2,12	3,16	4,38	5,05	5,5 Kilogr.

Diese Bestimmungen sind nach den Verordnungen der verschiedenen Länder verschieden, welche besonders die Breite des Ventilsitzes und den Durchmesser des Dampfrohres gesetzlich feststellen. Erstere darf schon deshalb nicht bedeutend sein, damit der Verschluß vollständig ist, die Oeffnung leicht erfolgt, der Ventilsitz nicht einrostet und der äußere Atmosphärendruck eine niedrige Dampfspannung im Kessel nicht überwiegt. Bei hoher Dampfspannung treten noch andere Erscheinungen hinzu, welche einen schmalen Ventilsitz nöthig machen, auf welche wir jedoch hier nicht eingehen können **).

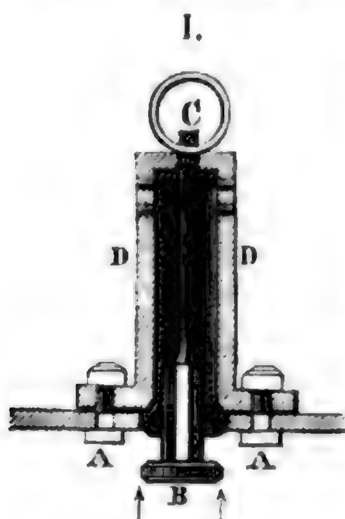
Soll das Sicherheitsventil eine bestimmte Dampfhöhe im Kessel garantiren, so muß es aber auch einen solchen Querschnitt haben, daß bei zu hoher Dampfspannung und fortgesetzter Feuerung aller producirte Dampf entweichen kann, damit die Dampfspannung nicht fortwährend steigt. Die Geschwindigkeit des entweichenden Dampfes richtet sich dabei nach der Größe der Oeffnung, und der Höhe der Dampfspannung. Der Durchmesser des Dampfrohres wird demgemäß nach den oben angeführten Verhältnissen von Redtenbacher bestimmt. Statt der indirecten Belastung vermittelst Hebel und Gewicht, kann man für niedere Dampfspannungen, bei welchen das Gewicht nicht bedeutend ist, auch eine directe Belastung des Sicherheitsventiles durch unmittelbares Auflegen von Gewichten anwenden. Diese Ventile sind gewöhnlich verschlossen, um sie der Willkür der Arbeiter zu entziehen, doch sind sie dadurch dem Einrosten um so eher unterworfen. Endlich wendet man noch Sicherheitsventile an, welche durch Federdruck niedergehalten werden. Sie gewähren jedoch wegen der Veränderlichkeit der Federkraft keine constante Belastung. Auf jedem Kessel sollen wenigstens 2 Sicherheitsventile angebracht werden, von welchen das eine ein verschlossenes, das andere ein offenes sein kann.

Die Luftventile oder inneren Sicherheitsventile haben den Zweck, das Zerdrücken des Dampfkessels durch den äußeren Atmosphärendruck zu verhüten.

*) Resultate. §. 235.

**) Das Nähere über Sicherheitsventile und deren Theorie in Weißbach, Mechanik. Bd. II. §. 318 und Prechtl, Techn. Encykl. Bd. III. S. 563.

Sie kommen nur bei Niederdruckkesseln mit sehr schwachen Wänden und sehr labiler Form vor. Diese sind dem Zerdrücken in dem Fall ausgesetzt, wenn der innere Dampfdruck beim Aufhören der Feuerung, starker Abkühlung und Condensirung des Dampfes sehr bedeutend sinkt. Das Luftventil öffnet sich sodann nach innen und die einströmende Luft gleicht die Druckdifferenz aus. Das Luftventil schließt sich nur dann, wenn der Dampfdruck auf dasselbe, das Gewicht des Ventiles und den Atmosphärendruck überwiegt. In beistehender Fig. I. *) ist A der Dampfkessel, B das Ventil, C dessen Geradführung und Halter, D das mit Luftlöchern versehene Ventilgehäuse.



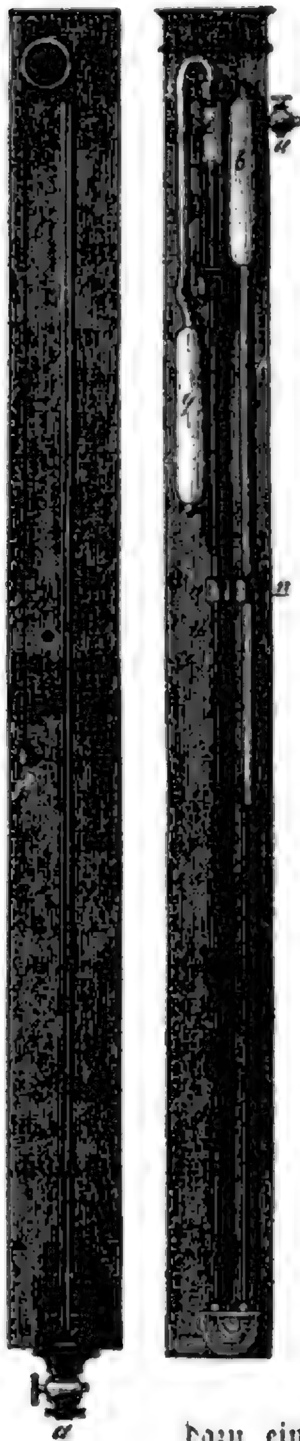
Bei Niederdruckkesseln wendet man zuweilen noch ein Sicherheitsrohr an, wie solches (in (Figur S. 337) bei W abgebildet ist. Es ist ein hinlänglich langes, oben und unten umgebogenes offenes Rohr, welches unterhalb des Normalwasserstandes einmündet. Dieses Rohr ist fortwährend mit einer Wassersäule gefüllt, deren Höhe dem Dampfdruck im Kessel das Gleichgewicht hält. Steigt nun der Dampfdruck höher, als bestimmt ist, so treibt er das Kesselwasser durch das Sicherheitsrohr bei U hinaus, während der Dampf bei V entweichen kann. Das Letztere geschieht auch, wenn der Wasserstand im Kessel zu niedrig wird. Somit erfüllt das Sicherheitsrohr zwei Functionen zugleich, ist aber bei höheren Dampfspannungen nicht anwendbar, weil die Rohrlänge zu bedeutend werden müßte **).

Einer der wichtigsten Apparate ist endlich das Manometer oder der Druckmesser, welcher die Höhe der Dampfspannung in jedem Augenblick ebenso anzeigt, als das Wasserniveau die Höhe des Wasserstandes. Die Manometer sind entweder offene oder geschlossene Luftmanometer, oder Metallmanometer. Letztere kommen in neuerer Zeit, besonders bei Locomotiven in Aufnahme, erstere sind nur für stationäre Maschinen und bis zu gewisser Druckhöhe anwendbar. Das geschlossene Manometer mit comprimirter Luft bestand anfänglich nur in einem theilweise mit Luft erfüllten Barometerrohr (siehe beistehende Fig. II.) c, das in ein Quecksilbergefäß b eintauchte, auf welches der Dampfdruck durch das Rohr a einwirken konnte. Je höher der Dampfdruck stieg, desto höher stieg auch das Quecksilber und preßte nach dem Mariotti'schen Gesetz die eingeschlossene Luft zusammen. Dies ist ein ebenso unzweckmäßiges als unrichtiges Instrument. Abgesehen davon, daß die Skala häufig ungenau, sogar falsch getheilt, und daß auf die Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme dabei gewöhnlich keine Rücksicht genommen wird, ist das Instrument für hohe Dampfspannungen deshalb nicht zu empfehlen, weil großen Druckdifferenzen nur kleine Volumenänderungen entsprechen, um so kleinere, je höher die Dampfspannung steigt, so daß die Angaben höchst



*) Scholl, Führer des Maschinisten. §. 103.
**) Siehe Scholl, Führer. §. 36.

unsicher werden. Man hat diesem Uebelstand auf mancherlei Art abzuhelfen gesucht, namentlich verdient das hyperbolische Manometer von Delaveye*) und das doppelt gebogene Spiritusmanometer von Hofmann in Breslau**) angeführt zu werden. Ersteres zeigt vermöge seiner hyperbolischen Form gleiche Veränderungen in der Dampfspannung auch durch gleiche Veränderungen im Quecksilberstande an, ist aber schwierig herzustellen. In letzterem werden 2 Luftsäulen durch eine Wasser- und eine Spiritussäule comprimirt, die Eintheilung der Skala kann aber nur auf experimentellem Wege geschehen. Vortheilhafter sind immer die offenen Manometer, welche auch den Vorzug haben, daß die Glasröhren zu ihrer Anwendung nicht unumgänglich nöthig sind, welche wegen ihrer Zerbrechlichkeit, Trübung ꝛc. bei Dampfkesseln möglichst zu vermeiden sind. Doch kann man die offenen Manometer, welche den Atmosphärendruck des Dampfes in Quecksilbersäulen von der Höhe anzeigen, wie sie in Tab. I. S. 286 Columne 2 verzeichnet sind, nur bis zu 4 Atmosphären Ueberdruck anwenden, um das Quecksilberrohr nicht übermäßig lang zu machen. Fig. I. zeigt ein offenes Quecksilbermanometer mit eisernem Rohr, welches den Quecksilberstand durch einen Schwimmer angiebt. Der Dampf tritt durch a ein, drückt auf das Quecksilber im Gefäß b und bringt es in dem offenen Rohre c zum Steigen. Ein kleiner eiserner Schwimmer d, der durch ein Gegengewicht f vermittelst Schnur und Rolle balancirt ist, steigt und fällt mit dem Quecksilber und das Gewicht f dient dabei als Zeiger, indem es sich an einer Skala vorbeibewegt. Statt einem Rohr mit Gefäß, wendet man oft ein heberförmig gebogenes Rohr an, welches zuweilen nur theilweise mit Quecksilber, und theilweise mit Wasser gefüllt ist. Die Berechnung der Skala ist in diesem Falle etwas complicirt***). Der Apparat mit Zeiger und Rolle ist aber unsicher, weil eine hinlängliche Controle der Beweglichkeit nicht gegeben ist. Da jedoch der Sicherheit wegen die offenen Manometer stets vorzuziehen sind, und um dieselben zugleich für hohe Dampfspannungen anwendbar zu machen, ohne die Skala zu vergrößern, giebt man demjenigen Theil des Manometerrohres, an welchem man den Quecksilberstand abliest, eine größere Weite und benutzt dazu eine starke Glasröhre, während das übrige Rohr aus Eisen ist. Fig. II. zeigt ein solches Manometer von Desbordes****). Der Dampf tritt durch a ein und begiebt sich durch das Gefäß b (durch



*) Dingler's Journal. Bd. XCIII. u. Weißbach's Mechanik Bd. II. §. 314.
**) Berliner Verhandlungen ꝛc. Jahrgang 1849.
***) Siehe Weißbach, Mechanik. Bd. II. §. 313.
****) Aus Delaunay, Mécanique.

welches das Quecksilber eingefüllt wird) in das Rohr c, welches mit einem Rohr d frei communicirt. Das Quecksilber befindet sich in c und d gleich hoch, steigt aber in d aufwärts bis zu dem weiten Glasrohr e (mit Skala), sobald der Dampf hinlängliche Spannung hat. An dieses Rohr schließt sich wiederum ein enges Rohr f an, welches in dem Gefäß g ausmündet, ohne mit demselben luftdicht verbunden zu sein, so daß die Atmosphäre durch f mit e frei communiciren kann. Das, unten mit einem Hahn verschlossene Gefäß g, in welches das Sicherheitsrohr f einmündet (ohne es zu schließen), ist bestimmt, das Quecksilber aufzunehmen, im Fall bei zu hohem Dampfdruck dasselbe ausgetrieben würde. Die offenen Manometer dienen also zugleich als Sicherheitsventile. Decoudun *) giebt ein ähnliches Manometer an, bei welchem aber der weitere Theil mit Glasrohr unten, statt oben angebracht ist, wodurch man ein bequemes Ablesen der Skala erreicht. Der Vortheil der größeren Weite des Glasrohres mit Skala liegt in der geringeren Niveauänderung, welche bei größeren Druckdifferenzen dadurch erzielt wird. Ist z. B. die Weite vom Rohre e 3 Mal so groß als die Weite des eisernen Rohres cd, so wird die Niveauänderung in e 9 Mal so klein sein, als im Schenkel c. Da nun die Spannung des Dampfes bei den Hebermanometern ebenso wie bei den Barometern **) durch die Niveaudifferenz in beiden Schenkeln gemessen wird, so ist in diesem Fall die Bewegung des Quecksilbers in e nur $^1/_{10}$ des Niveauabstandes, die Dampfspannung wird also 10fach verjüngt angegeben.

Noch zweckmäßiger zum Messen hoher Dampfspannungen ist das Differenzialmanometer. Es besteht aus einem System paralleler und unter einander verbundener Röhren, also aus einem System communicirender Hebermanometer, deren untere Hälfte mit Quecksilber, die obere Hälfte mit Luft oder Wasser gefüllt ist. Das erste Rohr communicirt mit dem Dampfkessel, das letzte mit der äußeren Luft. Die Summe der Höhendifferenzen der Quecksilbersäulen in den einzelnen Schenkelpaaren ist der Differenz zwischen den zwei Pressungen gleich, welche der Dampf und die atmosphärische Luft auf die 2 äußersten Schenkel ausüben. Dies gilt für den Fall, daß der obere Theil der Schenkel mit Luft gefüllt ist. Für die Füllung mit Wasser ist die Rechnung complicirter ***). Man kann entweder sämmtliche Rohre aus Glas machen, oder nur das letzte Rohr, welches sodann mit einer Skala versehen ist. Dies ist das Princip des Manometers mit Quecksilber- und Wasserfüllung von Richard ****). Ferner seien noch die offenen Manometer von Galy-Cazalat und Journeux †) erwähnt, so wie das Metallmanometer oder eigentlich Metallthermometer von Bourdon ††) und das patentirte Anhéroïdmanometer von v. Weber in Dresden. Man entwickelt überhaupt in neuerer Zeit eine große Thätigkeit in Erfindung neuer und einfacher Manometer, weil dieses Instrument allerdings eins der wichtigsten für den Dampfkessel ist. Auch der einfache Thermometer kann nach dem Früheren zur Angabe der Höhe der Dampfspannungen dienen. Doch muß man

---

*) Weißbach, Mechanik. Bd. II. §. 314.
**) Siehe d. Art. Bd. I.
***) Weißbach, Mechanik. Bd. II. §. 315.
****) Annales des mines. T. VII. 1845. — Bulletin de la société d'encour. 1845.
†) Annales des Mines. T. XVI. 1849. — Ingenieur. Bd. II.
††) Weißbach, Mechanik. Bd. II. §. 316.

die Thermometerkugel vor dem Dampfdruck durch eine Metallhülle schützen, wie Arago und Dulong gethan haben, so daß nur die Temperatur des Dampfes einwirken kann, aus welcher man unmittelbar den entsprechenden Druck findet.

Schließlich seien noch die leichtflüssigen Metallmischungen aus Blei, Wismuth und Zink (Rose'sches Metall ꝛc.) angeführt, welche man besonders früher in Form von Zapfen oder Platten in den Dampfkessel einfügte. Diese Metallmischungen schmelzen bei bestimmter Temperatur, also auch bei bestimmtem Dampfdruck, machen folglich eine Erhöhung des Dampfdruckes unmöglich. Die Vorrichtung ist aber eben so unbequem, als sie, namentlich bei Dampfschiffen, sogar gefährlich werden kann, — da es Fälle giebt, wo eine Erhöhung des Dampfdruckes durch die Umstände geboten ist *). Die sogenannten Sicherheitsplatten sind daher vollständig zu verwerfen. Prechtl hat sie sogar als Belastung der Sicherheitsventile vorgeschlagen **). Zu diesem Zweck sind sie aber aus gleichen Gründen nur noch verwerflicher, da der Vortheil der Sicherheitsventile gerade darin besteht, im Nothfall den Dampfdruck im Kessel durch Belastung des Ventiles beliebig erhöhen zu können und dabei sicher zu sein, daß das Ventil sich bei der beliebig gegebenen Maximalspannung öffnet.

Die Oekonomie einer zweckmäßigen Feueranlage gebietet, den Dampfkessel vollständig einzumauern, also auch seine obere Fläche, nachdem man sie mit schlechten Wärmeleitern (Holz, Spreu, Asche, Spähne) umgeben hat, mit Steinplatten ꝛc. zu bedecken ***). Dadurch wird aber die Anbringung der einzelnen Kesselapparate sehr erschwert. Um daher zu vermeiden, daß jeder einzelne Apparat eine besondere Kesselöffnung erhalte, sucht man möglichst viele Apparate um eine große Kesselöffnung zu concentriren. Dies geschieht durch den sogenannten Kesseldom, dessen Garnitur man ausschließlich mit dem Namen Kesselarmatur belegt. Der Kesseldom ist ein weites gußeisernes Rohr von kreisrunder, oder besser elliptischer Form, welches unmittelbar auf den Kessel aufgenietet wird, und durch die Bedeckung und Einmauerung hindurch, vertikal in die freie Luft herausragt. Dieses Rohr trägt 2 oder 4 rechtwinklig gebogene Seitenrohre, auf welchen Apparate angebracht werden. Die Armatur des Kesseldomes besteht gewöhnlich aus folgenden Stücken. Die obere elliptische Hauptöffnung wird durch die, mit Bügeln und Schrauben versehene Deckplatte verschlossen, welche den Eingang zu dem Mannloch oder Fahrloch bildet. Durch diese Platte hindurch geht eine Stopfbüchse mit Geradführung, welche den Draht und Zeigerapparat des Schwimmers trägt. Die 4 Seitenrohre des Domes enthalten 4 Ventile — nämlich das Dampfventil oder Dampfabschlußventil, welches zur Maschine führt, das Dampfauslaßventil, und 2 Sicherheitsventile, als die nöthigsten Apparate. Außerdem münden nur noch das Wasserspeiserohr und die Rohre der Probirhähne an einer besonderen Stelle des oberen Kesseltheiles. An der vorderen Seite des Kessels, über der Feuerung, oder im Maschinenhaus, münden die 2 Glasröhre des Wasserniveaus und des Manometers aus. Diese 2 wichtigen Apparate müssen vor Verunreinigung und Zer-

*) Siehe d. Art. Explosion.
**) Technol. Encyklop. Bd. III. S. 370.
***) Siehe d. Art. Heizung und Cap. VI. §. 45.

trümmerung möglichst geschützt, also am besten in eisernen Kasten mit Glasthüren eingeschlossen und so angebracht sein, daß sie der Kesselheizer und Maschinenwärter fortwährend und ohne die geringste Mühe im Auge haben und beobachten kann.

Bei vollkommener Ausführung und guter Instandhaltung dieser 10 Apparate, deren 6 auf dem Kesseldom, 2 an der oberen und 2 an der vorderen Seite des Kessels angefügt sind, bedarf es weiter keiner Apparate. Alle sogenannten Sicherheitsapparate und Allarmsignale helfen und schützen erfahrungsmäßig nicht. Die Selbstregulirvorrichtungen sind sogar gefährlich, weil sie trügerisch sind und den Heizer nachlässig machen, sobald er sich auf sie verläßt. Das beste Sicherheitsmittel ist ein guter und aufmerksamer Heizer. In England hat man das von jeher erkannt und diese Sicherheitsapparate nicht angewendet, wogegen die Franzosen, aufgefordert durch die Akademien, Sociétés d'encouragement etc., eine Reihe sehr sinnreicher und eleganter Apparate zu Tage förderten, die aber fast sämmtlich niemals in die eigentliche Praxis übergegangen sind. — Ausführlicheren Aufschluß über Dampfkessel, deren Anlage, Heizung, Apparate rc. geben unter andern folgende Schriften des Auslandes:

Péclet, Traité de la chaleur, Tome II. 1843. — Tredgold, Treatise on the steam engine. — Grouvelle et Jaunez, Guide du chauffeur. 1846. — Bataille et Jullien, Traité des machines à vapeur. — Treatise on the steam engine, by the Artizan Club, edit. Bourne. 1846. — Jullien, ordonnances du roi 1843. — Machines à vapeur arrêtés et instructions, Bruxelles 1844. — Ferner eine Reihe von Abhandlungen in: Annales des mines; Annales des ponts et chaussées; Bulletin de la société d'encouragement. — An deutschen Werken ist zu nennen: Verdam's Dampfmaschinenlehre, 3. Abtheil. — Hartmann, Dampfmaschine nach Grouvelle, Jaunez und Jullien. — Scholl, Führer des Maschinisten. — Baumgartner, Anleitung zum Heizen der Dampfkessel. — Prechtl, technol. Encyklopädie. Bd. III. — Weißbach's Mechanik. Bd. II. — Ferner eine Reihe von Abhandlungen in: Dingler's polyt. Journal; Hülße's polyt. Centralblatt; Verhandlungen des preußischen Gewerbevereins in Berlin.

IV.

Eintheilung und Beschreibung der charakteristischen Dampfmaschinen-Systeme.

§. 31. Der Dampf, welcher im Kessel mit entsprechender Spannung erzeugt und sodann durch das Dampfrohr nach seinem Bestimmungsorte abgeführt wird, kann nunmehr auf die verschiedenste Art als Motor benutzt werden, wie bereits in Cap. I. ausführlich erörtert ist. Wenn wir dabei von der Höhe der Dampfspannung absehen und hauptsächlich die Construction des Receptors ins Auge fassen, so zerfallen die Dampfmaschinen in 2 Hauptsysteme, nämlich in:

A. Unmittelbar wirkende rotirende Dampfmaschinen, Dampfturbinen oder Reactionsräder.

B. Mittelbar wirkende Kolben-Dampfmaschinen mit Kraftübertragung durch Bewegungsmechanismen. Letztere zerfallen in:

I. Einfach wirkende Dampfmaschinen, gewöhnlich mit geradlinig auf- und niedergehender Bewegung. — Wir unterscheiden dabei wieder:

1) Atmosphärische Maschinen, mit oder ohne getrennten Condensator. (Siehe §. 6.)

2) Einfach wirkende Watt'sche Condensations-Maschinen, (§. 11.) mit Niederdruck.

3) Einfach wirkende Cornwallmaschinen mit Expansion und Condensation. (§. 7 u. 13.)

II. Doppeltwirkende Dampfmaschinen, gewöhnlich mit rotirender Bewegung.

1) Mit Condensation ohne Expansion, oder Watt'sche Niederdruckmaschinen. (§. 14 u. 15.)

2) Mit Condensation und Expansion.

a) Mit einem Cylinder oder doppelt wirkende Cornwallmaschinen.

b) Mit zwei Cylindern oder Maschinen von Woolf (§. 16 u. 17), Sims (§. 12) und Frimot. (§. 24.)

3) Ohne Condensation oder Hochdruckmaschinen und zwar:

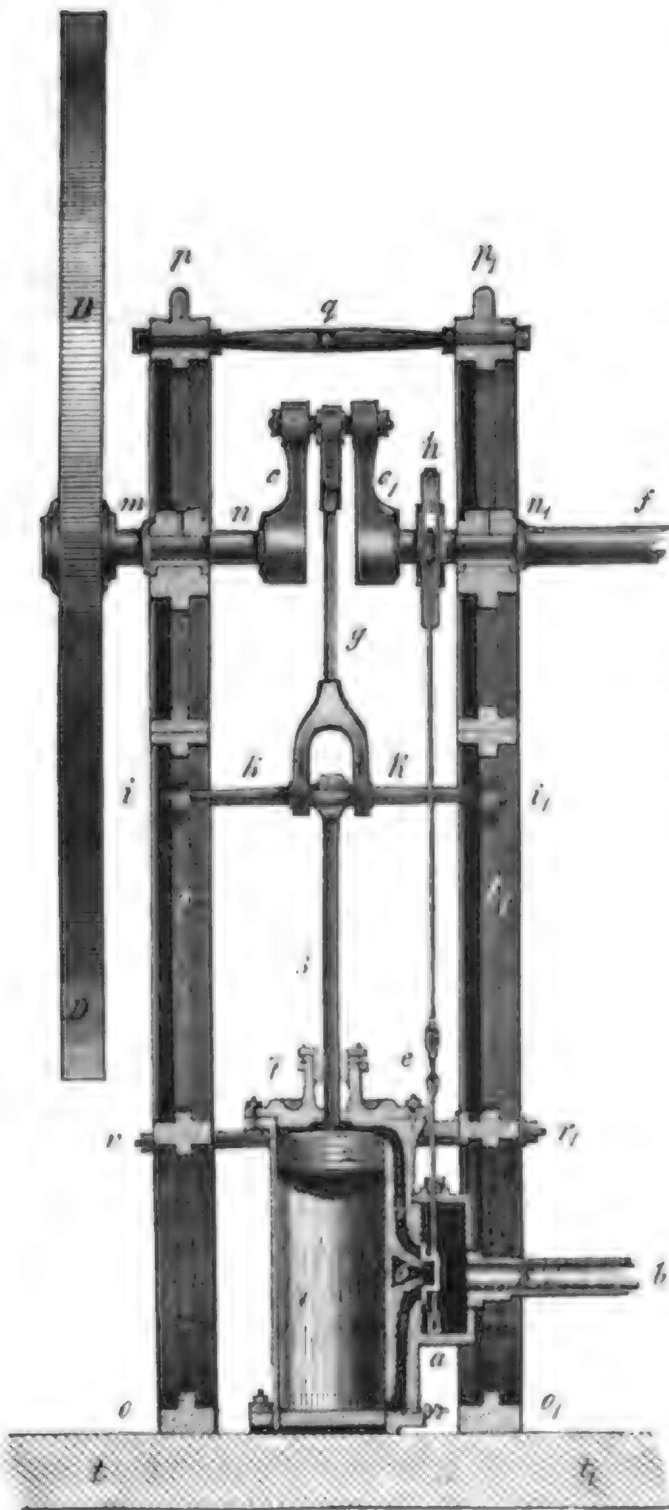
a) Ohne Expansion. (§. 9 u. §. 18.)

b) Mit Expansion.

Diese Eintheilung könnte noch um viele Unterabtheilungen vermehrt werden, sobald man auf die Construction der Bewegungsmechanismen, Expansions-Steuerungen 2c. und auf die Verbesserungen Rücksicht nehmen wollte, welche einzelne Constructeure anbrachten und ihren Maschinen besondere Namen ertheilten. Ist es uns aber hier schon nicht möglich, nur die Hauptsysteme sämmtlich näher zu betrachten, so wäre es absolut unmöglich, die Variationen und Combinationen, deren jede der angedeuteten Grundideen fähig ist, nur namentlich anzuführen, da täglich neue Constructionen auftauchen. Wir können also nur eine Auswahl unter den charakteristischen Hauptsystemen treffen, deren kurze Beschreibung wir geben, wobei wir in Betreff der Wirkungsart auf Cap. I. verweisen und das Constructive, als nicht hierher gehörig, vernachlässigen müssen.

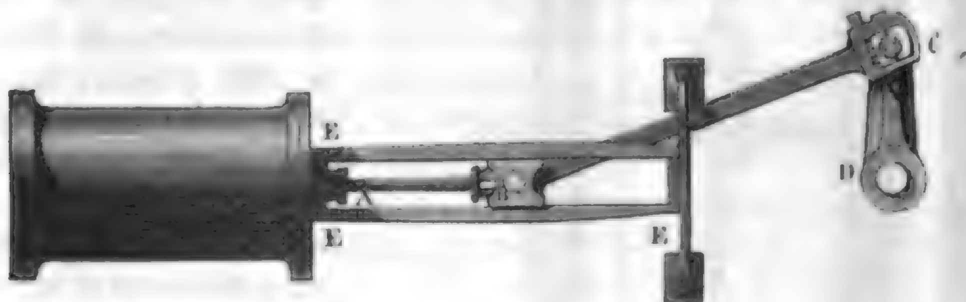
Wir beginnen mit der Hochdruckmaschine ohne Expansion, deren Wirkung eben so einfach und klar ist, als ihre Construction. Umstehende Figur*) giebt die Seitenansicht der Maschine in einem Durchschnitt des Dampfcylinders, mit Hinweglassung aller Neben-Apparate. Der gußeiserne Dampfcylinder 1 ist durch einen Cylinderdeckel und Cylinderboden oben und unten vermittelst Schrauben und Kitt luftdicht verschlossen und vollkommen cylindrisch ausgebohrt. In denselben paßt dampfdicht der, aus mehreren Ringen von Messing oder Eisen zusammengesetzte Dampfkolben 2, dessen Kolbenstange 3 luftdicht durch den Cylinderdeckel vermittelst einer mit Hanf dicht ausgefütterten

*) Nach Müller's physikal. Briefen. III. Theil.



Stopfbüchse 7 geführt ist. Der aus dem Dampfkessel kommende Dampf mit hoher Spannung gelangt durch das Dampfrohr b zunächst in den Steuerkasten a und sodann durch die Dampfcanäle 4 und 5, abwechselnd über und unter den Kolben, während der verbrauchte Dampf gleichzeitig durch die Oeffnung 6, welche in die freie Luft führt, beseitigt wird. Die abwechselnde Vertheilung des Dampfes in die Canäle 4 u. 5 und die Abführung des gebrauchten Dampfes durch das Rohr 6 geschieht durch die *Steuerung* im Steuerkasten a. Sie kann auf sehr verschiedene Weise durch Hähne, Schieber, Ventile oder Kolben bewirkt werden. Die Zeichnung giebt die gebräuchlichste Steuerung durch das *Kastenventil* oder den *C-Schieber*, in der Stellung an, in welcher er, von oben nach unten gleitend, den Dampfweg 4 eben öffnet. Dadurch ist der Kolben, der seine höchste Stellung erreicht hat, gezwungen, sich niederwärts zu bewegen, während der verbrauchte Dampf durch 5 unter der Schieberhöhlung weg nach 6 entweicht. Die Bewegung des Schiebers erfolgt durch das *Steuerexcentric* h vermittelst der *Steuerstange* e. Die excentrische Scheibe sitzt auf der Triebwelle f, rotirt mit derselben und ertheilt dadurch dem Schieber in a eine auf- und niedergehende Bewegung. Die Triebwelle, welche die durch den Dampf entwickelte Wirkungsgröße zur Benutzung weiter fortzuleiten hat, erhält ihre rotirende Bewegung durch den Kolben 2 unmittelbar auf folgende Weise. Die auf- und niedergehende Kolbenstange 3 wird in ihrer senkrechten Lage durch eine *Geradführung* erhalten, welche aus der Traverse k besteht, die an ihren Enden zwei Gleitrollen i i_1 trägt, welche auf den Schienen l l_1 auf- und niederrollen. Die Traverse k trägt oben noch die *Schubstange* g, deren untere Gabel sich frei um die Traverse schwingen kann,

deren oberer Theil aber die Zapfen der beiden Kurbeln c c_1 umfaßt und im Kreise herumführt, während die Kolbenstange auf- und niederschwingt. Die eine Kurbel sitzt auf der Schwungradwelle m fest und bewegt das Schwungrad d, welches dazu dient, den Gang der Maschine gleichmäßig zu machen und die Kurbeln über die 2 sogenannten todten Punkte hinweg zu bringen, in welchen sie sich bei ihrer höchsten und tiefsten Stellung vollkommen wirkungslos befinden. Die Kurbel c_1, mit der Kurbel c fest verbunden, bewegt die Triebwelle f und zugleich das Steuerexcentric h, welches so gestellt ist, daß die Maschine sich selbst steuert. Ein mit schmiedeeisernen Ankern q und r r_1 zusammengeschraubter gußeiserner Rahmen o p p_1 o_1 trägt die Lager n n_1 der Hauptwelle, die Gleise oder Gleitschienen l l_1 umfaßt vermittelst der Anker r r_1 den Dampfcylinder und bildet somit aus der ganzen Maschine ein festes System, das man in jede beliebige Lage bringen kann, sobald der Rahmen mit den steinernen Fundamentplatten t t_1 fest verankert ist. Die Maschine kann folglich ebenso gut liegend arbeiten, als sie hier stehend angebracht ist. Beistehende Figur *) zeigt denselben Bewegungsmechanismus mit liegendem Cylinder (wie er auch bei den Locomotiven angewendet



wird), von der, rechtwinklig auf die vorige Figur genommenen Ansicht mit Hinweglassung der Steuerung, des Excentric und des Schwungrades. A ist die Kolbenstange, B die Geradführung, welche hier nicht aus Rollen, sondern aus einem Gleitstück besteht, das an den parallelen Schienen E E hingleitet, wobei die Bewegung durch die Schubstange B C auf die Kurbel C D übertragen und in eine rotirende verwandelt wird. Durch die Kurbelwelle oder Triebwelle D wird die Rotation bei der Locomotive unmittelbar auf die Treibräder, bei Dampfschiffen auf die Schaufelräder, bei stehenden Maschinen auf die Triebwerke übertragen. Man sieht, daß dieses Grundprincip einer universellen Anwendung fähig ist und daß daher diese einfache Maschine als Typus der Dampfmaschine überhaupt gelten kann.

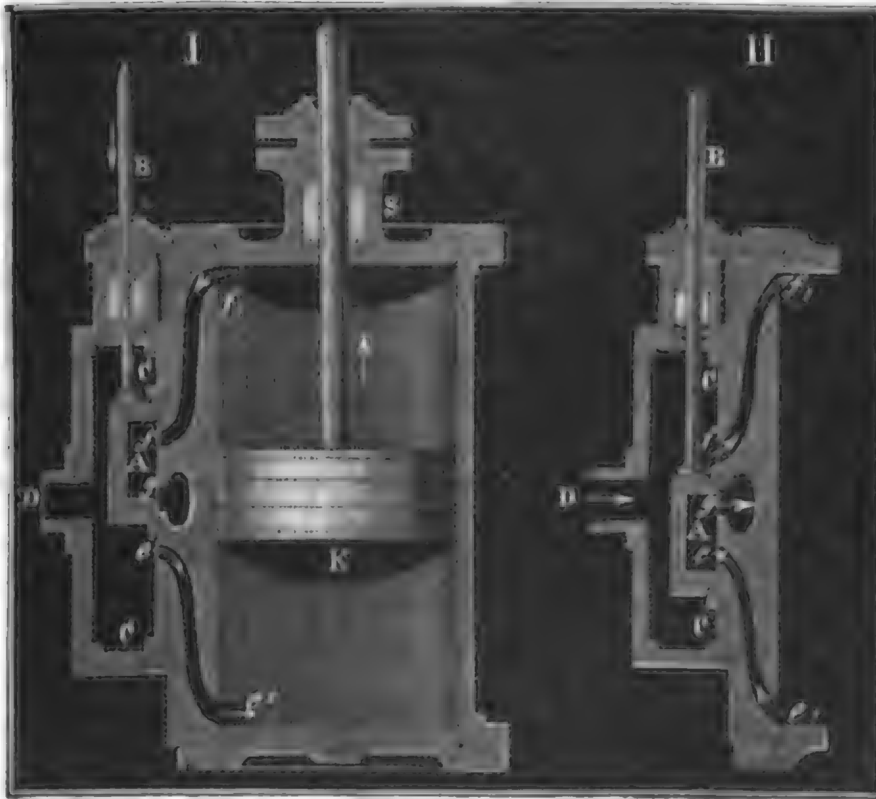
Es bleibt nur noch übrig, die Vertheilung des Dampfes durch den Schieber näher zu betrachten. Wir wählen dazu eine vergrößerte und genauere Abbildung (siehe umstehende Figur) des Dampfcylinders und Steuerkastens **).

Der Schieber A ist ein Muschel- oder C-Schieber, bestehend aus einem hohlen, mit Lappen versehenen eisernen Kasten, der im Durchschnitt Aehnlichkeit mit dem Buchstaben C oder mit einem gewöhnlichen Schubkasten hat. Er ist eingeschlossen in dem Steuerkasten oder der Dampfkammer C C, wird durch die Steuerstange B bewegt und gleitet dabei mit seinen aufgeschliffenen Stirnflächen

*) Aus Delaunay Mécanique.
**) Aus Weißbach's Mechanik.

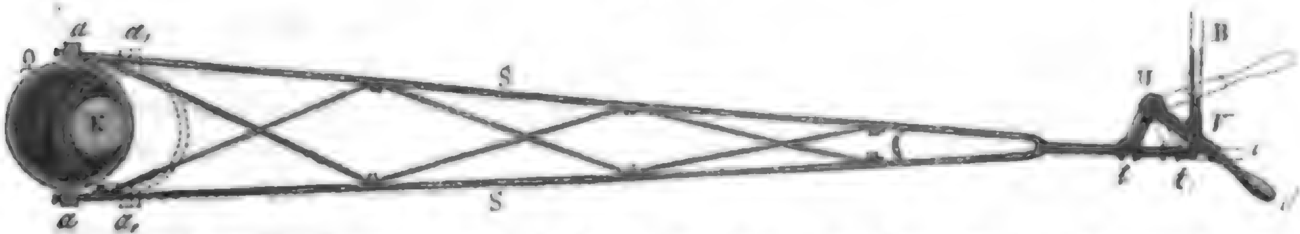
auf der Ebene CC auf und nieder. Der, durch das Dampfrohr D zugeführte Dampf, tritt bei der Stellung I des Schiebers durch $e\,e_1$ unter den Dampfkolben K und treibt denselben empor, dagegen bei der Stellung II durch $f\,f_1$ über den Kolben und nöthigt denselben zum Niedergange. Im ersten Fall strömt der benutzte

I.



Dampf durch f_1 f in die Kastenhöhlung des Schiebers und von da durch das Rohr g in die freie Luft. Im zweiten Fall muß er den Weg e_1 e einschlagen und gelangt dann durch g ebenfalls ins Freie oder bei Condensationsmaschinen in den Condensator, da die Schiebersteuerung allenthalben angebracht werden kann. Das Steuerexcentric h (Fig. S. 349), welches die Steuerstange B auf- und niederschiebt, hat endlich folgende Einrichtung, welche in der entgegengesetzten Ansicht (Fig. II.) deutlicher wird *). Es ist ein Kreisexcentric und besteht aus

II.



einer gußeisernen cylindrischen Scheibe P, welche auf der Hauptwelle K excentrisch, d. h. so aufgekeilt ist, daß der Mittelpunkt von P außerhalb der Axe von K fällt. Dreht sich die Welle K, so schleudert sie die Scheibe P mit sich herum, welche ein beweglicher Ring Q bandartig umschließt, aber frei darauf gleiten kann. An diesem Excentricring Q sind 2 Excentricstangen SS fest verschraubt, welche

---

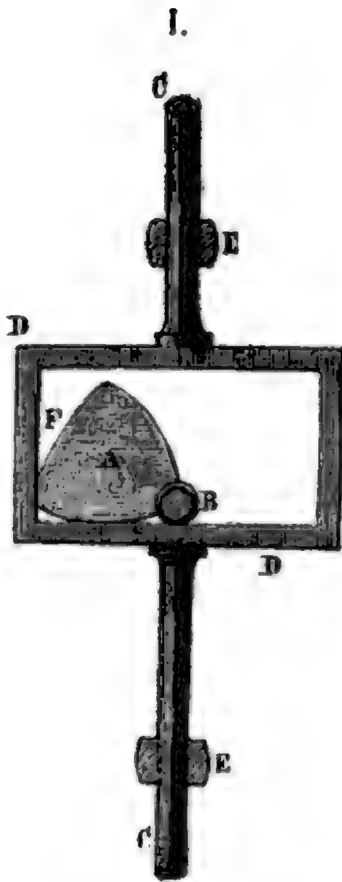
*) Aus Delaunay Mécanique.

bei t zusammenlaufen und entweder unmittelbar in die Steuerstange übergehen oder bei anderen Maschinen auf den Winkelhebel tUV wirken, der bei U seinen Drehpunkt hat und bei V in die Steuerstange B eingreift. Der Mittelpunkt der Scheibe P beschreibt bei der Drehung der Welle K einen Kreis um die letztere, die Scheibe wirkt daher als Kurbel und schiebt den Ring Q mit den Stangen S geradlinig hin und her. Die Figur zeigt die eine extreme Stellung ata, bei welcher der Schieber am höchsten steht, und die punktirten Linien a_1 t_1 a_1 zeigen die andere extreme Stellung, beim tiefsten Stand des Schiebers. Im Fall die Anordnung des Schiebers so getroffen ist, daß die Steuerstange B rechtwinklig auf der Excentricstange steht, so wird an letzterer noch ein Handgriff c angebracht, wodurch man die Excentricstange aus dem Zapfen t herausheben und durch den anderen Handgriff d die Bewegung des Schiebers entweder unterbrechen, oder in die entgegengesetzte verwandeln, d. h. die Maschine umsteuern kann. Dies ist ein Verfahren, welches bei Locomotiven, Grubenförderungsmaschinen und bei Dampfschiffen nöthig wird, weil man diese nach Bedürfniß vor- und rückwärts bewegen muß. So wie der Schieber durch die Handstellung die entgegengesetzte Richtung von der erhält, welche er eben verfolgte, wird auch die Kolbenbewegung umgesetzt und die Maschine läuft im entgegengesetzten Sinne, als vorher. Das Schwungrad, welches sich z. B. vorher von Links nach Rechts bewegte, dreht sich nunmehr von Rechts nach Links, die Maschine ist umgesteuert und die Schieberstange kann sodann wieder an das Excentric angehangen werden.

§. 32. Die Schiebersteuerung bietet aber noch mannigfache Vortheile, so wie Gelegenheit zu vielen Modificationen dar und verlangt in der Praxis die sorgfältigste Behandlung, da von der Construction und Stellung des Schiebers die richtige Vertheilung und vollkommene Ausnutzung des Dampfes abhängt. Nächst einer zweckmäßigen Kesselanlage und sorgsamen Construction der Maschine liegt in einer rationellen Steuerung das wesentlichste Moment einer ökonomischen Verwendung der motorischen Kraft der Wärme, so daß von der Art der Steuerung sogar direct auf das Verbrauchsquantum des Brennmaterials geschlossen werden kann *).

In Bezug auf die richtige Vertheilung des Dampfes in dem obern und untern Theil des Cylinders, ist das Voreilen des Schiebers von Wichtigkeit. Der Schieber soll den neuen Dampfweg schon öffnen, bevor der Dampfkolben seine volle Hubhöhe erreicht hat, damit der Dampf nicht stoßweiße, sondern durch möglichst gleichmäßigen Druck wirkt und der Kolben mit vollem Dampfdruck seinen neuen Hub beginnen kann. Deshalb ist auch nöthig, daß der Schieber schon vor dem Ende des Kolbenhubes den Dampfzutritt aufhebt und den Dampfabführungsweg öffnet. Dies wird durch die Stellung des Excentrics zum Krummzapfen bewirkt. Das Kreisexcentric öffnet und schließt aber die Dampfwege nur allmälig und verursacht durch diese Querschnittsverengungen dem aus- und einströmenden Dampfe Widerstand und Arbeitsverluste. Ein momentanes Schließen und Oeffnen und Feststehen in den einzelnen Positionen ist daher wünschenswerth und man benutzt dazu unter andern das trianguläre Excentric (siehe umstehende Fig. I.), welches den Vorzug hat, daß es den Schieber an den Endstellen ruhen läßt und sodann schnell in die nächste Position überführt. Auf der rotirenden Steuerwelle B (oder auch unmittelbar auf der Hauptwelle) sitzt das aus drei, 60 Grad

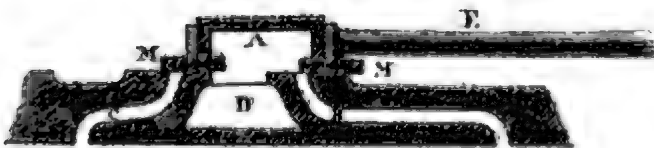
*) Siehe Cap. VII. §. 50.



langen Kreisbogen gebildete Excentric A. Es bewegt sich in einem viereckigen Rahmen D D und gleitet bald an der oberen, bald an der unteren Seite desselben hin. Der Rahmen ist mit der Schieberstange CC fest verbunden, welche in den Führungen EE auf- und niedergleiten kann. Er folgt also der Bewegung des Excentrics und bleibt in seiner höchsten und tiefsten Stellung so lange fest stehen, als die Fläche F auf der oberen oder unteren Seite des Rahmens hingleitet.

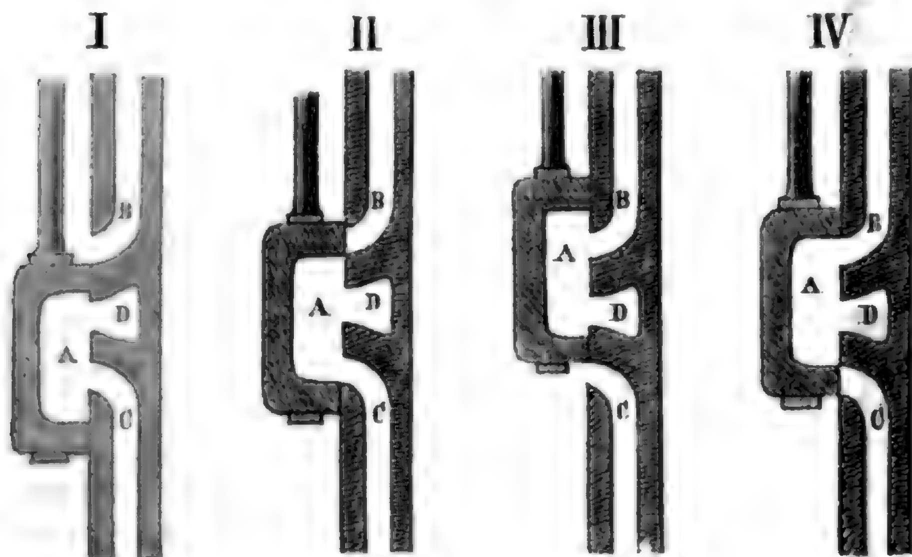
Eine noch vollkommnere Benutzung des Dampfes wird aber erzielt, wenn man den Schieber, anstatt ihn schnell über die Dampfwege hinweg in seine Endposition zu führen, umgekehrt eine Zeit lang auf den Dampfwegen feststehen und dieselben bedecken läßt, wodurch die Expansion des Dampfes bewirkt wird. Dies führt uns unmittelbar zur Betrachtung der Hochdruckmaschine mit Expansion. Wir unterscheiden hierbei die feste und variable Expansion und betrachten zunächst die erstere. Die feste Expansion kann theils mit 1 Schieber, theils mit 2 Schiebern geschehen.

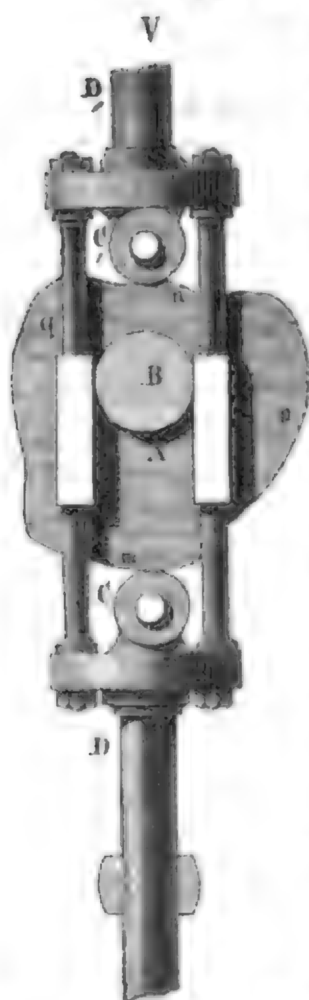
Die einfachste Expansion mit einem Schieber ist die von Clapeyron, welche gar keiner besonderen Vorrichtungen, sondern nur eines anders geformten Schiebers bedarf (siehe beistehende Fig. II.), welcher durch ein gewöhnliches, auf Voreilen gestelltes Kreisexcentric bewegt wird. A ist der Kastenschieber mit der Schubstange E. B und C sind die Dampfwege, D das Dampfabführungsrohr des Cylinders. Die Abänderung besteht nur darin, daß an dem Schieber A zwei feste Lappen M M angebracht sind, welche nach außen weiter übergreifen als nach innen und deren Länge viel größer ist, als die Höhe der Dampfwege B und C. Während der Schieber z. B. über den Dampfweg C hingleitet, bleibt derselbe geschlossen und der im Cylinder befindliche Dampf muß expandiren. Er kann den Kolben vorwärts treiben, weil während dessen der Dampfweg B mit dem Ausführungsrohre D noch communicirt und umgekehrt. Es tritt allerdings sodann ein Moment ein, wo beide Dampfwege geschlossen sind, deshalb ist diese Expansionsart nur für Maschinen vortheilhaft, welche eine sehr rasche Bewegung haben, wie die Locomotiven.



Complicirter, aber vortheilhafter ist die Expansion von Saulnier, bei welcher der Dampfschieber in den geeigneten Positionen durch ein Expansionsexcentric festgehalten und schnell in die nächste Position übergeführt wird. In der Stellung I (siehe umstehende Figuren) tritt der Dampf durch B über den Dampfkolben und wirkt auf denselben mit Volldruck, z. B. bis zur Hälfte seines Laufes, während der gebrauchte Dampf unter dem Kolben durch C nach D entweicht. Sobald der halbe Kolbenhub erreicht ist, springt der Schieber in die Position II

über, schließt also den Dampfweg B, während C noch mit D communicirt und zwingt so den Dampf, während der anderen Hälfte des Kolbenhubes mit Expansion zu wirken. Ist das Ende erreicht, so springt der Schieber nochmals aufwärts in die Position III, öffnet dadurch C und setzt den expandirten Dampf durch B mit D in Verbindung, der nun entweichen kann. In der Hälfte des aufwärts gehenden





Kolbenhubes springt der Schieber in die Position IV, schließt dadurch C und der Dampf wirkt bis zum Ende mit Expansion, worauf der Schieber wieder in die Position I übergeht. Um demselben diese 4 Stellungen ruckweise zu ertheilen, wendet man eine façonirte Scheibe von geeigneter Construction, ähnlich dem triangulären Excentric, an. B (Fig. V.) ist die Hauptwelle, mit welcher das Expansionsexcentric A rotirt, dessen Oberfläche aus 4 Bogenstücken n q m p besteht, die auf geeignete Weise durch Curven verbunden sind. Zwei Rollen C C_1, welche mit dem Rahmen D D_1 fest verbunden sind, gleiten auf der Oberfläche von A, mit der sie fortwährend in Berührung sind. Der in den Führungen auf- und niederschwingende Rahmen enthält dadurch 4 Positionen, welche den 4 Positionen des Schiebers entsprechen und direct durch D_1 auf diesen übertragen werden, je nachdem eine der 4 Curven, welche ungleichen Abstand vom Centrum B haben, mit C_1 in Contact kommt. Die Curve n, welche am nächsten an B liegt, entspricht der Position I des Schiebers. Wenn die am weitesten entfernt liegende Curve m C_1 berührt, steht der Schieber in der Position III, q und p bewirken die Mittelpositionen II und IV.

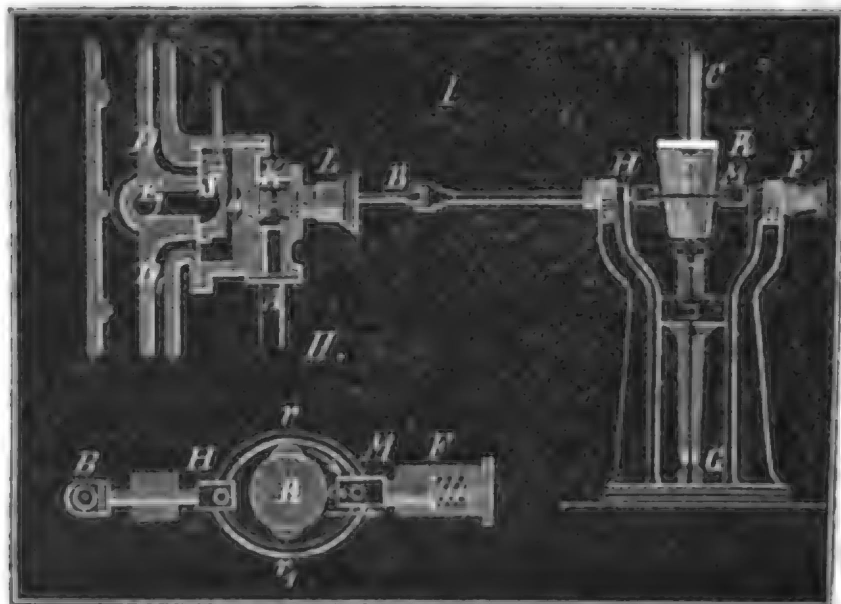
Die Expansion mit zwei Schiebern kann auf ähnliche Weise bewirkt werden. Der Steuerkasten ist sodann entweder getheilt, so daß jeder Schieber seinen besonderen Steuerkasten hat und beide durch eine Oeffnung communiciren. Der innere Schieber ist dann ein einfacher Steuerschieber, welcher auf die

gewöhnliche Weise durch ein Kreisexcentric bewegt wird. Der äußere Schieber ist der Expansionsschieber, und besteht entweder aus einer einfachen oder einer durchlochten Platte, welche durch ein Expansionsexcentric oder auf sonst geeignete Weise bewegt wird, demzufolge den Dampfzufluß zeitweise öffnet oder abschließt und somit die Expansion im eigentlichen Steuerkasten und dem Dampfcylinder bewirkt.

Oder die 2 Schieber liegen unmittelbar auf einander, der Expansionsschieber auf dem Rücken des Steuerschiebers. Letzterer ist durchlöchert und bildet somit eine Fortsetzung der Dampfwege, welche durch den Expansionsschieber, der mit einem besonderen Excentric bewegt wird, geöffnet oder geschlossen werden. Der Expansionsschieber wird auch zuweilen nicht durch ein besonderes Excentric, sondern durch den Steuerschieber selbst bewegt, indem er, durch diesen mitgenommen, im geeigneten Moment an einen Vorsprung anstößt und festgehalten wird. Die veränderliche Stellung des Vorsprunges bedingt den Grad der Expansion, d. h. die Dauer des Stillstandes des Expansionsschiebers. Wenn man diesen Anschlag beliebig verstellbar macht, so erhält man eine variable Expansion. Auch durch eine veränderliche Stellung der Excentrics gegen einander (sobald man 2 anwendet) so wie der Excentrics gegen die Kurbel der Dampfmaschine erhält man variable Expansionen. Diese verschiedenen Principe sind der mannigfaltigsten Combinationen fähig und man erhält dadurch eine ganze Reihe von Expansionsvorrichtungen, auf welche wir hier nicht eingehen können. Wir verweisen deshalb unter andern auf Weißbach's Mechanik, Bd. II., woselbst in den §§. 343 bis 347 nur beispielsweise 7 verschiedene Expansionsarten angegeben sind, ohne die von Clapeyron.

§. 33. Die variable Expansion hat den Zweck, den Gang einer Dampfmaschine zu regeln, wodurch die Expansion selbst wieder geregelt wird. Wenn die Widerstände einer Dampfmaschine sehr verschieden sind, so würde sie einmal schneller, einmal langsamer arbeiten, da die Expansionsvorrichtungen zwar Dampf- und Brennmaterialersparniß bewirken, aber der expandirte Dampf einen geringeren Druck auf den Kolben ausübt, als der volle Dampf. (Siehe §. 12 und 14.) Wächst also der Widerstand auf kurze Zeit bedeutend, so muß der Expansionsgrad verringert oder die Expansion ganz aufgehoben werden können, so daß der Dampf mit Volldruck so lange arbeitet, bis die Widerstände überwunden sind. Sind umgekehrt die Widerstände überraschend gering, so muß der Expansionsgrad vermehrt werden, damit die Maschine nicht zu schnell arbeitet und keine unnütze Dampfverschwendung stattfindet. Eine Maschine mit variabler Expansion muß also nach Bedürfniß mit Volldruck, oder mit jedem beliebigen Expansionsgrad, bis zum momentanen Abschluß alles Dampfes, arbeiten können. Die Stellung der Expansion wird entweder durch die Hand des Arbeiters, oder durch die Maschine selbst bewirkt. Die letztere Art bezeichnet man auch vorzugsweise mit dem Namen der variablen Expansion, während die erstere immer mit Uebelständen, oft sogar mit Anhalten der Maschine verbunden ist. Man kann die Veränderung des Expansionsgrades durch Handstellung einestheils dadurch bewirken, daß man das Expansionsexcentric (siehe Fig. V.) aus zwei, verschieden geformten Scheiben zusammensetzt, die neben einander angebracht und gegen einander verstellbar sind. Oder man bringt (wie schon in §. 32 erwähnt ist) bei der Expansion mit 2 übereinanderliegenden Schiebern verstellbare Anschläge

(Nasen und Stifte) an, die theils durch den Arbeiter, theils durch die Maschine regulirt werden können. Dies ist die Expansion von Farcot. Am wichtigsten und sinnreichsten sind die, sich selbstregulirenden variabeln Expansionen, aus welchen wir nur die Meyer'sche Expansion hervorheben wollen. Sie giebt uns zugleich das Bild einer Expansion mit 2 Schiebern und getrenntem Steuerkasten, nur daß statt des Expansionsschiebers gewöhnlich ein Ventil angebracht wird. Durch das Dampfrohr A Fig. I. tritt der Dampf in die Vorkammer, um sich durch die Oeffnung a in die eigentliche Dampfkammer zu begeben. Dies geschieht aber nur so lange, als die Dampföffnung nicht durch ein Kegelventil K geschlossen wird. Ist der Schluß erfolgt, so ist die Communication zwischen Kessel und Cylinder abgesperrt und der im letzteren schon befindliche Dampf muß expandiren. Der innere Schieber S ist ein gewöhnlicher Dampfvertheilungsschieber, der den vollen, so wie den expandirenden Dampf regelmäßig in die Dampfwege D D_1 vertheilt und durch E abführt. Das Oeffnen und Schließen von a durch das Ventil K geschieht aber auf folgende Weise. An dem Ventil befindet sich eine Zugstange B H, die



auf der einen Seite durch eine Stopfbüchse L dampfdicht hindurchgeht, auf der andern in einen Ring H M (Fig. II.) ausläuft, der sich an eine Feder in F anstemmt. Der Ring umfaßt einen, mit zwei, oben starken, nach unten aber immer schwächer werdenden Längenrippen versehenen Kegel R, der mittelst der stehenden Welle C G durch die Maschine in Rotation erhalten wird. Bei M befindet sich eine Rolle, welche den Expansionsconus R fortwährend berührt. Die Feder F schiebt den Ring in der Richtung M H und strebt folglich, den Dampfweg a durch K zu schließen. Dies geschieht auch so lange, bis nicht eine der 2 Rippen r r_1 des Conus, an die Rolle bei M anstößt, wodurch der Ring H M gegen die Feder F gedrückt und das Ventil K gehoben wird, also Dampfzufluß in den Cylinder stattfindet. Nun macht die Spindel C G, also auch der Conus R, mit der Kurbelwelle der Dampfmaschine gleichviel Umdrehungen. Mithin wird für jeden Kolbenhub einmal frischer Dampf zugelassen und sodann abgesperrt. Der schwächere Theil des Conus R mit dem schmaleren Rippentheil befindet sich unten, der dickere Theil mit stark zunehmender Rippenbreite am oberen Theil. Der Conus

ist auf der Spindel verschiebbar, folglich kann man bald den schwächeren, bald den stärkeren Rippentheil in die Ebene des Ringes bringen. Geschieht das erstere, so öffnet sich das Ventil K nur sehr kurze Zeit, der Expansionsgrad im Cylinder ist also vermehrt. Hebt man den Conus noch höher, so trifft der Ring auf keine Rippe mehr, das Ventil K bleibt geschlossen und die Maschine steht. Schiebt man umgekehrt den Conus tiefer, so trifft der Ring auf immer breitere Stellen der Rippen $r r_1$, die Zeitdauer der Oeffnung des Ventiles K wird immer vergrößert, bis man bei der tiefsten Stellung des Conus auf eine Peripherie trifft, in welcher der Conus ganz in die Rippenstärke übergeht, d. h. es findet keine Expansion mehr statt. Das Heben und Senken des Conus geschieht durch die Maschine selbst, wie wir sogleich betrachten werden. Man sieht, daß das Princip des Expansionsconus aus dem des Expansionsexcentric (Figur S. 354) hervorgegangen ist. Der Conus ist nichts Anderes als eine Reihe von übereinanderliegenden Expansionsscheiben mit 2, statt 4 Stufen oder Anschlägen und mit abnehmenden Durchmessern. Die verschiedenen Querschnittsformen sind durch stetige Flächen verbunden, wodurch die Rippen r und r_1 gebildet werden.

Die wesentliche Einrichtung einer Hochdruckmaschine mit variabler Expansion von Meyer zeigt umstehende perspektivische Ansicht*). A ist der Dampfcylinder, B die Kolbenstange, C die Schubstange, D die Kurbel, EF die Triebwelle, G das Schwungrad, O das Querstück mit 2 Gleitrollen, welche zwischen den Gleisen cc auf und niedergehen und dadurch die Geradführung bewirken. Der Kesseldampf strömt durch das Rohr a in den Steuerkasten b, wird daselbst durch den Vertheilungsschieber, den das Kreisexcentric E bewegt, abwechselnd in die Dampfwege bd und $b d_1$, also über und unter den Kolben geführt und der gebrauchte Dampf wird durch e abgeleitet. Diese Theile sind dieselben wie bei der Hochdruckmaschine ohne Expansion (Figur S. 349), außer daß hier nur eine Kurbel und eine Hauptwelle angebracht ist. Die neu hinzugekommenen Theile sind die Speisepumpe und der Schwungkugelregulator mit dem Expansionsconus. Die Speisepumpe muß bei jeder Maschine angebracht sein und ward in der Figur S. 349 nur zur Vereinfachung der Zeichnung weggelassen. Sie besteht aus dem Pumpenkörper Q, in welchem sich der massive Kolben P bewegt und abwechselnd saugt und drückt. Die Bewegung geschieht durch ein Kreisexcentric F vermittelst der Excentricstange FN. Der Expansionsapparat besteht, wie wir soeben angegeben haben, aus dem Expansionsventil im Innern von b, der Zugstange bh, dem Ring hf (mit der Feder in F) und dem Expansionsconus r, der auf der Spindel L verschiebbar ist, welche durch zwei Winkelräder HK in Umdrehung gesetzt wird. Auf der Spindel KL sitzt aber gleichzeitig der Schwungkugelregulator mit seinen Kugeln MM, welche an 2 Stangen Mi auf- und niederschwingen, die in i ein Charnier haben. Wächst die Geschwindigkeit der Maschine, so dreht sich auch die Spindel KL schneller und die Kugeln MM werden durch die Centrifugalkraft auseinander und aufwärts geschleudert. Nimmt die Geschwindigkeit ab, so fallen die Kugeln zusammen und bewegen sich zugleich abwärts. Diese auf- und niedergehende Bewegung wird durch 2 andere Stangen Mk, welche in M und k Charniere haben und durch eine, im Innern der Spindel

*) Nach Weißbach, Mechanik. Bd. II. §. 348.

L verborgene Zugstange, auf den Conus übertragen, der durch ein Gegengewicht unterhalb g so balancirt ist, daß seine Hebung und Senkung ohne Kraftaufwand erfolgt. Die Schwungkugeln bewirken folglich durch ihre Senkung, bei zu langsamem Gang der Maschine, ein Vermindern des Expansionsgrades, also stärkeren Dampfzufluß, folglich schnelleren Gang der Maschine. Das Auseinandergehen der Kugeln bei zu schneller Rotation bewirkt dagegen Verstärkung des Expansionsgrades, also geringeren Dampfdruck, oder selbst vollkommenen Dampfabschluß bei extremer Geschwindigkeit der Maschine *).

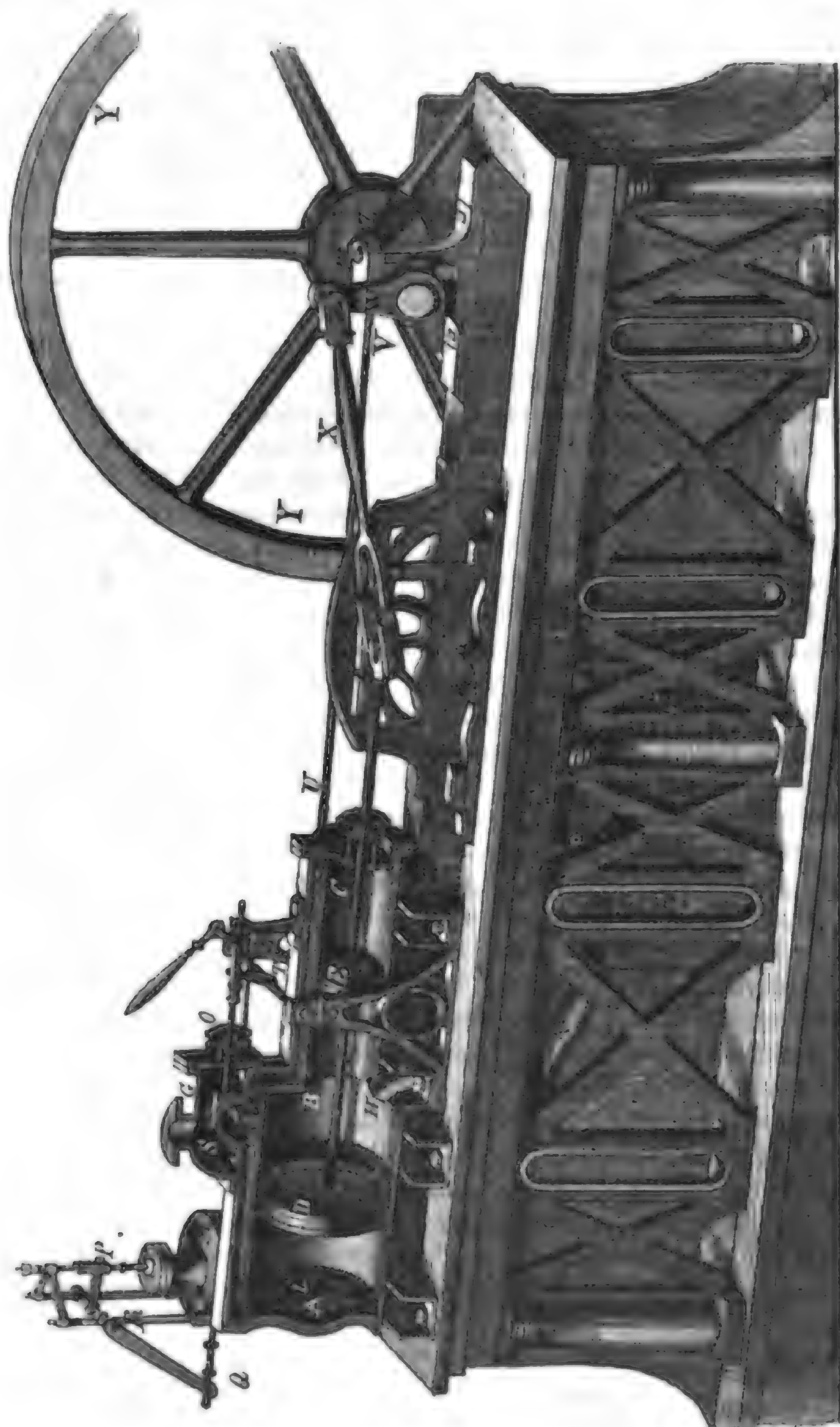
§. 34. Das Princip der Expansionsmaschinen, sobald sie mit 2 Cylindern arbeiten, ist schon früher (§. 16 und 17) entwickelt worden. Sie sind fast

*) Es ist uns leider nicht vergönnt, auf die Theorie des Centrifugalregulators, so wie der Kurbel und des Schwungrades — welche 3 Maschinenelemente hauptsächlich den gleichmäßigen Gang der Dampfmaschine zu bewirken haben — hier einzugehen, da diese Betrachtungen außerhalb der Grenzen eines physikalischen Lexicons liegen. Wir müssen uns daher mit diesen allgemeinen Andeutungen begnügen und auf technologische Wörterbücher verweisen. Anm. d. Verf.

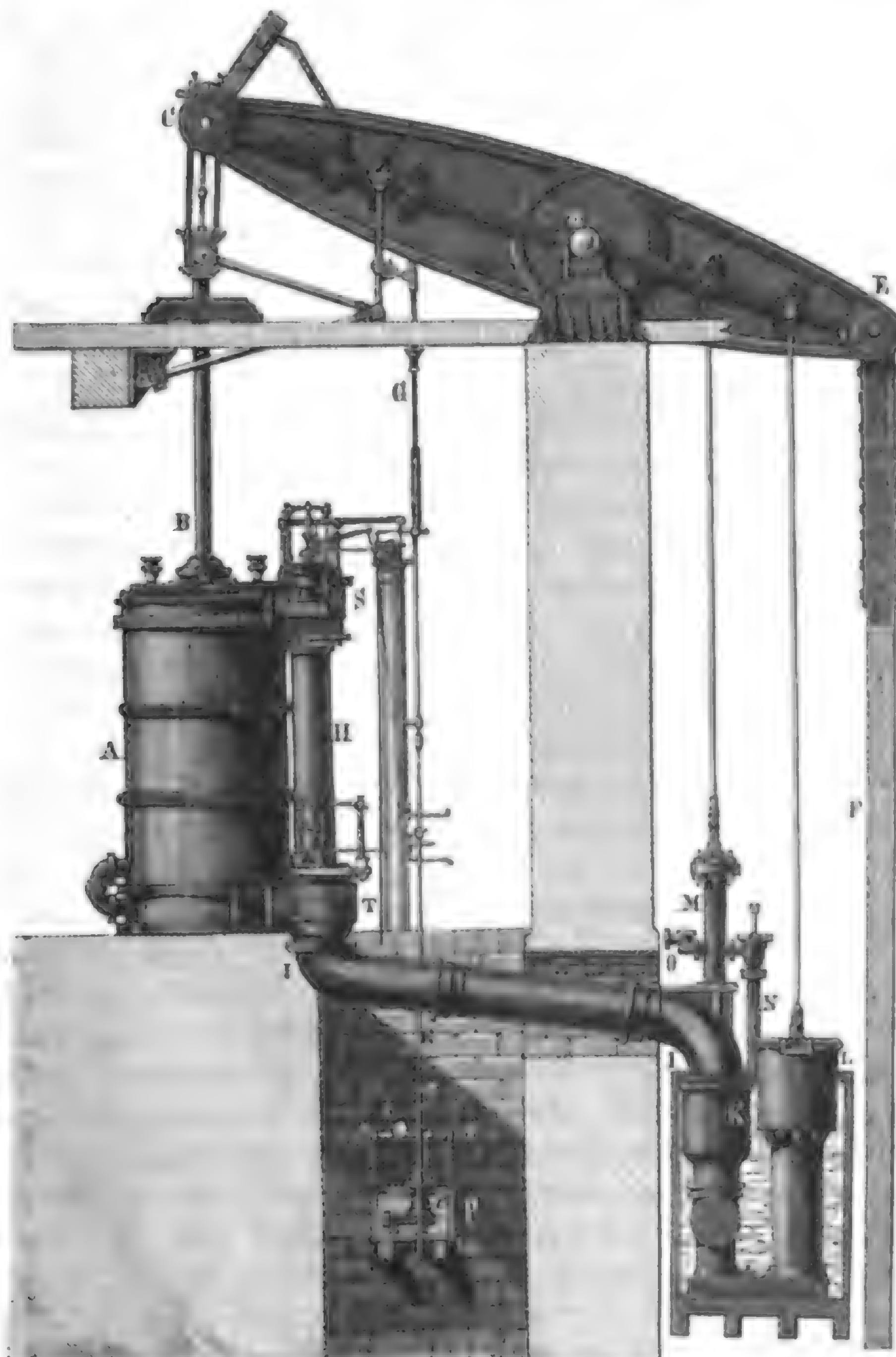
immer Mitteldruckmaschinen und mit einem Condensator versehen. Die Woolf'sche Maschine ist die bekannteste. Redtenbacher *) giebt für die Dampfspannung im kleinen Cylinder den Mittelwerth von 18000 Klgr. per Quadratmeter, d. h. von $1^3/_4$ Atmosphäre, und nimmt an, daß der größere Expansionscylinder 4faches Volumen hat, daß folglich die Maschine mit 4facher Expansion arbeite. Andere Maschinen, nach demselben Princip, wie z. B. die von Frimot und Edwards arbeiten mit höherer Spannung von 3 bis 4 Atmosphären. Die Steuerung der Woolf'schen Maschine ist gewöhnlich eine combinirte Schieber- und Ventilsteuerung; die Uebertragung der Bewegung geschieht nicht direct von der Kolbenstange auf die Kurbel, sondern durch einen Balancier. Die Kolbenstangen beider Cylinder sind in der Regel an einem Balancier und zwar die des kleineren innen und die des größeren außen angeschlossen. Wir werden die Ventilsteuerung, die Balancierbewegung mit Geradführung und den Condensator bei den späteren Maschinen wiederfinden, und müssen uns hier begnügen, nur einen Repräsentant der Maschinen mit 2 Cylindern zu beschreiben. Wir wählen dazu die neue interessante Maschine von Sims **). Umstehende Figur ***) zeigt den Durchschnitt der hauptsächlichsten Maschinentheile in perspectivischer Ansicht. Der Condensator ist im Fußgestell verborgen, die Maschine ist eine directwirkende, mit liegendem Cylinder. Denkt man sich den kleineren Cylinder hinweg, so giebt sie das Bild einer Hochdruckmaschine mit liegendem Cylinder. AB und BC sind 2, mit ihren Endflächen zusammenstoßende, communicirende Cylinder von verschiedenem Durchmesser. Auf derselben Kolbenstange DF sitzen beide Kolben D und E. Der kleinere Kolben E wird durch den, aus dem Kessel einströmenden Volldampf von hoher Spannung abwärts gedrückt. Die Steuerung geschieht durch den gewöhnlichen Schieber S in den Steuerkasten G, welcher den Dampf durch den Canal abc oberhalb E einströmen läßt. Sobald beide Kolben nahezu ihren tiefsten Stand erreicht haben, stellt sich der Schieber, wie in der Figur, so daß die Dampfkanäle abc und de communiciren. Der eben gebrauchte Volldruckdampf strömt nunmehr nach dem großen Cylinder AB unter den Kolben D, expandirt und schiebt beide Kolben aufwärts, mit einem Ueberdruck, welcher der Differenz zwischen den Oberflächen des großen und kleinen Kolbens gleich ist. Der Raum B zwischen beiden Dampfkolben bleibt vom Dampfe frei, steht aber durch das Rohr H mit dem Condensator K in Verbindung. Es findet daher auf beide Kolben noch ein geringer Gegendruck statt, welcher dem Niedergang der Kolben in der Richtung ED förderlich, dem Aufgang in der Richtung DE aber um ebenso viel hinderlich ist. Der in AD expandirte Dampf strömt, nachdem der Kolben D seine höchste Stellung erreicht hat, durch den Canal L und das Dampfrohr N in den Condensator K, sobald ein Dampfventil im Ventilsitz M gehoben wird. Das rechtzeitige Heben und Schließen dieses Ventiles, so wie die Stellung des Schiebers S geschieht durch das Excentric Z und die Excentricstange UV, welche einerseits den Winkelhebel T und dadurch die Steuerstange O, anderseits den Winkelhebel QR und somit die Ventilstange P hin- und herbewegt. Die Uebertragung der Bewegung beider Kolben geschieht, wie früher, durch die Schubstange X auf

*) Resultate §. 271. S. 226.
**) Mechanic's Journal 1849. Juli p. 30 und Polyt. Centralblatt 1851. 1. Heft.
***) Nach Weißbach's Mechanik. Bd. II. §. 350.

die Kurbel W und von da auf die Welle Z mit dem Schwungrad Y, welches die hin- und hergehende Bewegung der Kolbenstange C F in eine möglichst gleichmäßig rotirende der Welle verwandelt.



§. 35. Wir gelangen in unserer Betrachtung zu den, schon mehrfach erwähnten Cornwallmaschinen mit Expansion und Condensation, welche sowohl einfach wirkend als doppelt wirkend sein können. Das Princip derselben, sofern sie einfach wirkend sind, haben wir bereits in §. 11 kennen lernen. Die Steuerung bei allen diesen Maschinen ist aber keine Schiebersteuerung, sondern Ventilsteuerung; die Uebertragung der Bewegung geschieht mittelst Balancier und bleibt in den meisten Fällen eine geradlinig auf- und niedergehende, sobald die Maschinen zum Wasserheben bestimmt sind. Beistehende Figur giebt die Gesammtansicht einer einfach wirkenden Cornwallmaschine *), von welcher sich die doppelt wirkende nur wenig unterscheidet. A ist der Dampf-



*) Aus Delaunay, Mécanique.

cylinder, in welchem sich der Dampfkolben wie gewöhnlich bewegt; B die Kolbenstange, welche durch eine eigenthümliche Geradführung (das Parallelogramm) mit dem einen Ende C des Balanciers C D E verbunden ist. Der auf- und absteigende Kolben ertheilt dem Balancier eine hin- und herschwingende Bewegung um die Axe D, welche dem Pumpengestänge F am andern Ende E des Balanciers wiederum eine geradlinig hin- und hergehende Bewegung ertheilt. Das Gestänge F mündet unmittelbar in den Schacht und setzt die dort befindlichen Pumpen in Bewegung. Der Dampf im Cylinder A hat nur das Pumpengestänge zu heben, also den Dampfkolben niederwärts zu drücken, während das bedeutende Gewicht des Gestänges die absteigende Bewegung desselben und das Heben des Kolbens bewirkt.

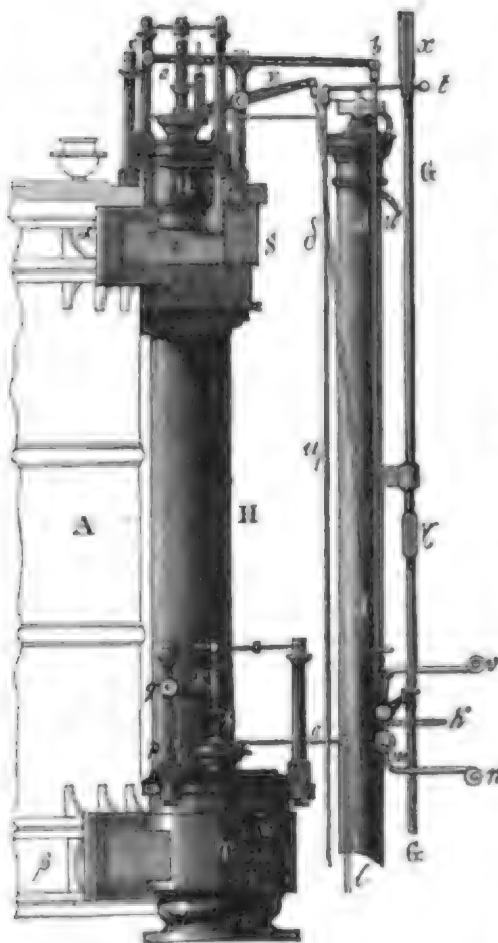
Die Anwendung der Expansion hat bei diesen Maschinen nicht allein den Zweck der vollkommensten Dampf-Ausnutzung, also Kohlenersparniß, sondern trägt auch wesentlich zu dem gleichmäßigen Gang der Maschinen bei. Der zu überwindende Widerstand wirkt auf die Maschine mit constanter Intensität während des ganzen Niederganges des Dampfkolbens. Wenn nun in gleicher Weise auch der Dampf mit vollem Druck wirkte, bis der Kolben im tiefsten Punkte angekommen wäre, so würde auch der wirksame Druck ein constanter sein. Dieser Druck muß aber beim Beginn der Bewegung größer sein, als der Widerstand, damit überhaupt eine Bewegung erfolgen kann. Wäre dieser Ueberdruck also constant, so müßte nothwendig eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung eintreten. Bei den rotirenden Maschinen werden diese Differenzen durch das Schwungrad ausgeglichen — bei den Pumpmaschinen aber, welche keine Schwungmasse haben, würde das mit beschleunigter Bewegung aufsteigende Gestänge jedesmal einen Stoß des Dampf- und Pumpenkolbens gegen ihre Cylinder, so wie heftige Stöße des Wassers gegen die Ventile und Röhrenwände bewirken. Dies vermeidet man durch Anwendung der Expansion. Im Anfang läßt man den Dampf mit Volldruck wirken und gewinnt dadurch einen hinlänglichen Ueberdruck, um dem Kolben die gehörige Geschwindigkeit zu ertheilen. Darauf wird der Dampf abgeschlossen. Je weiter der Kolben sich nun bewegt, desto mehr expandirt der Dampf, desto geringer wird folglich der Ueberdruck, dessen Intensität zuletzt unter die Intensität des Widerstandes herabsinkt. Die Kolbenbewegung wird in eben dem Maße an Beschleunigung abnehmen, als der Widerstand überwiegt, und schließlich wird der Kolben ohne Stoß mit einer Geschwindigkeit, die beinahe Null ist, am Cylinderboden ankommen.

Die Maschine bewegt aber außer dem Pumpengestänge noch selbstthätig verschiedene Mechanismen. Die lange Steuerstange (poutrelle) G, welche durch einen Gegenlenker mit dem Balancier verbunden ist, dient dazu, in geeigneten Momenten die drei, schon aus §. 11 bekannten Ventile, das Einlaß-, Auslaß- und Gleichgewichtsventil zu bewegen. Das Dampfrohr H vermittelt die Communication über und unter dem Dampfkolben, sobald das Gleichgewichtsventil S geöffnet ist. Das Condensationsrohr J J verbindet den unteren Theil des Cylinders mit dem Condensator K, sobald das Auslaßventil T geöffnet wird. Der Condensator steht in einer Wassercysterne, welche ihn sowohl äußerlich abkühlt, als auch das Injectionswasser (§. 6 und 11) zum Einspritzen liefert. L ist die Luftpumpe (§. 15), deren Kolben ebenfalls durch den Balancier bewegt wird. Sie schafft das Injectionswasser und den condensirten Dampf aus dem Condensator, so wie den nicht condensirten Dampf und die Gasarten aus dem Rohr J und dem Conden-

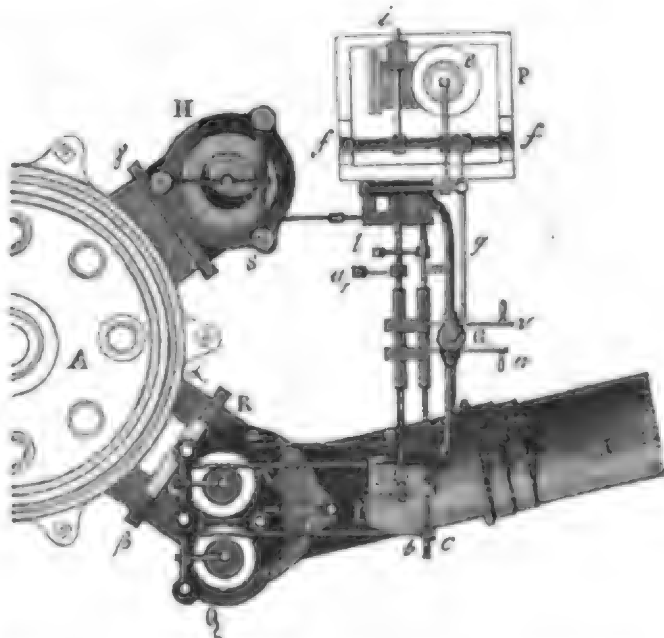
sator, mit jedem Hub des Balanciers weg. Eine zweite, ebenfalls durch den Balancier bewegte Pumpe M, die Speisepumpe saugt durch das Rohr N das warme Condensationswasser aus der Luftpumpe und drückt es durch das Ventil O in den Kessel zurück. Der Vortheil, welchen die Speisung mit warmem Wasser bietet, ist bereits in §. 20 S. 298 angedeutet. Die Speisung der Kaltwassercysterne, in welcher der Condensator steht, erfolgt durch freien Zufluß aus dem Schacht oder durch das große Gestänge F, welches eine ganze Reihe von Pumpen in Bewegung setzt.

Die Anordnung der complicirten Steuerung der 3 Ventile bedarf aber noch näherer Erklärung. Wir geben daher den Theil II der vorigen Figur in größerem Maßstab so wie im Grundriß. Q ist zunächst ein Ventilgehäuse, in welchem ein besonderes Stellventil oder Regulator (soupape moderatrice, siehe §. 29) sich befindet, welcher das Einströmen des Dampfes aus dem Kessel in den Cylinder absperrt oder regulirt, je nachdem der zu überwindende Widerstand geringer oder größer ist. Dieses Ventil bleibt unbeweglich während des Ganges der Maschine. Man giebt ihm zuvor eine angemessene Stellung, so daß der Kolben mit Volldampf weder zu schnell noch zu langsam seine niedersteigende Bewegung beginnt. Dieses Ventil wird durch die Stange a Fig. I. bewegt, welche durch den Hebel b c, der bei c seinen Drehpunkt hat, vermittelst eines zweiten Hebels an derselben Axe c gehoben und gesenkt wird. An b c befindet sich eine Zugstange d d mit Schraube, wodurch der Maschinist die Stellung des Ventiles Q reguliren kann. Bei Z schließt

I.



II.



sich das Kesseldampfrohr an den Cylinder an, der Dampf tritt also von unten nach oben durch den Regulator ein. Er begiebt sich zunächst in das Ventilgehäuse R, in welchem das Einlaßventil, zur Seite des Regulators Fig. II. sich befindet, und tritt, so lange dieses geöffnet ist, in den oberen Theil des Cylinders durch

das Rohr α ein. Nachdem der Kolben niederbewegt ist, begiebt sich der Dampf durch das Rohr γ, und durch das Gleichgewichtsventil im Ventilgehäuse S in das Rohr H und von da in den unteren Theil des Cylinders, während der Kolben nach oben steigt. Sodann öffnet sich das Auslaßventil in T und läßt den expandirten Dampf durch β und J nach dem Condensator entweichen.

Bevor der Kolben seinen Niedergang beginnt, muß das Auslaßventil schon geöffnet sein, damit in der Zwischenzeit, bis das Einlaßventil sich öffnet, der Dampf unter dem Kolben bereits zum großen Theil durch den Condensator beseitigt und dadurch ein möglichst geringer Gegendruck auf den Kolben erzielt wird. Hat der Kolben einen Theil seines Weges zurückgelegt, so schließt sich das Einlaßventil, damit der Dampf nunmehr durch Expansion wirkt. Das Auslaßventil schließt sich erst, wenn der Kolben seinen tiefsten Stand erreicht hat. Sodann öffnet sich das Gleichgewichtsventil, der Kolben steigt empor und die Maschine schließt dieses Ventil erst, wenn der Kolben oben anhalten soll. Darauf beginnt das Spiel von Neuem. Man könnte die Disposition so treffen, daß die Maschine das Einlaß- und Auslaßventil zu gleicher Zeit öffnete, während das Gleichgewichtsventil sich schlösse, d. h. im Moment, wo der Kolben am Ende seines aufsteigenden Kurses angekommen ist. Dadurch wäre der Kolben genöthigt, sogleich wieder niederzusteigen (wie bei den doppelt wirkenden Maschinen) und die Maschine würde continuirlich arbeiten. Statt dessen sucht man aber einen intermittirenden Gang zu bewirken, d. h. man läßt die Maschine nach jedem Doppelspiel einige Zeit in Ruhe. Dies liegt in der Natur der besonderen Arbeit des Wasserförderns, welche diese Maschinen zu verrichten haben. Die Schachtpumpen, welche durch das Gestänge F bewegt werden, heben das Grubenwasser aus Cysternen, in welche dasselbe nur langsam aus den Spalten und unterirdischen Gallerien zusammenfließt. Die Schachtpumpen können folglich nicht continuirlich arbeiten, und die Anzahl der Kolbenzüge der Dampfmaschine per Stunde richtet sich nach dem größeren oder geringeren Zusammenfluß des Grubenwassers.

Um diese intermittirende Bewegung der Maschine zu bewirken, läßt man das Einlaß- und Auslaßventil nicht durch die Maschine selbst, sondern durch einen besonderen Apparat bewegen, den man Kataract nennt und dessen Construction man unter P in den Figuren S. 361 und 363, II. angedeutet findet. Der wesentlichste Theil ist eine Wasserpumpe e, welche in einer Cysterne steht. Die Pumpenstange hängt an einem Hebel, an dessen Drehungsaxe f noch ein zweiter Hebel g befestigt ist. Wenn der Dampfkolben seinen tiefsten Stand beinahe erreicht hat, schlägt die Hauptsteuerstange G mittelst eines Anschlages an den Hebel g, drückt ihn nieder und hebt dadurch den Kolben der Pumpe e, der durch ein Ventil, das sich am Boden der Pumpe befindet, Wasser aus der Cysterne in den Pumpenkörper saugt. Steigt nunmehr der Dampfkolben aufwärts, so wird der Hebel g wieder frei, und der Pumpenkolben in e strebt, theils durch sein eigenes Gewicht, theils mit Hülfe des Gegengewichtes i, sich niederzubewegen. Dadurch wird aber das Saugventil geschlossen und das im Pumpenkörper nun eingeschlossene Wasser kann nicht anders entweichen, als durch eine kleine Oeffnung, welche mit einem Hahne beliebig verengert oder erweitert werden kann. Dieser Ausfluß geschieht sehr langsam und der Kolben bewegt sich, durch den Widerstand des Wassers gehindert, ebenso langsam nieder. Durch die Stellung des Hahnes hat man diese Bewegung ganz in seiner Gewalt. Der Hebel g hebt sich ebenso langsam und man richtet es

so ein, daß derselbe, wenn er in gewisser Höhe angelangt ist, zuerst das Auslaßventil und sodann das Einlaßventil öffnet. Am Hebel g ist nämlich eine Stange befestigt, welche in der Fig. 1. durch die Steuerstange G verdeckt ist. Sobald diese Stange durch den Hebel g auf eine bestimmte Höhe gehoben ist, trifft ein Vorsprung derselben an den kleinen Hebel k und nimmt ihn mit aufwärts. Dadurch wird ein Hebelwerk ausgelöst, welches um die Axe m drehbar ist. Die Zugstange l, die an ihrem Ende ein Gegengewicht trägt, sucht nämlich fortwährend die Axe m zu drehen, indem sie einen kleinen Hebel niederzieht. Die Axe wird aber in ihrer Stellung durch einen Zahn festgehalten, der in einen andern Zahn eingreift, welcher am Hebel k befestigt ist. Sobald der Hebel k gehoben ist, wird der Zahn an der Axe m ausgelöst und diese dreht sich, indem sie dem Zug der Stange l folgt. Dadurch hebt sich der Griff n, eine Zugstange o p wird gleichzeitig nach rechts gezogen, ebenso der vertikale Arm p q des Winkelhebels p q r, der horizontale Arm q r folglich nach oben, und dieser hebt vermittelst der Ventilstange s das Auslaßventil T.

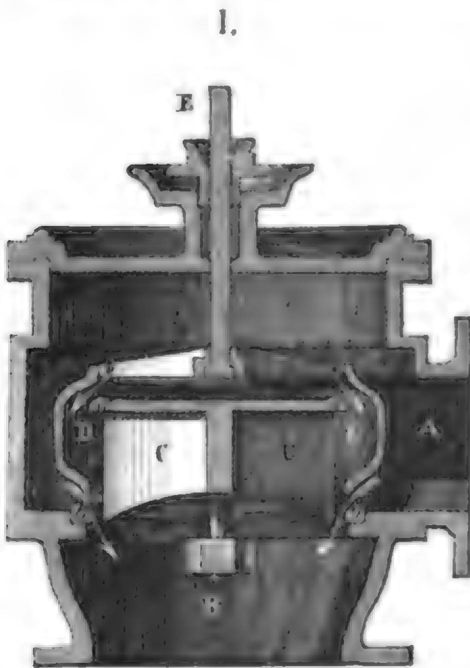
Nachdem das Auslaßventil geöffnet ist, fährt die Schubstange, die mit dem Hebel g des Kataraktes verbunden ist, fort, nach aufwärts zu steigen und trifft dabei auf den Hebel t Fig. 1. Dieser Hebel verrichtet dieselbe Function des Auslösens für das Einlaßventil, welche der Hebel k für das Auslaßventil versah. Sobald t gehoben ist, öffnet sich das Einlaßventil R durch ein ähnliches Hebelwerk δE vermöge eines Gegengewichts an der Zugstange u_1, welches gleichzeitig den Griff u hebt. Nunmehr beginnt der Dampfkolben erst niederzusteigen und mit ihm bewegt sich die Steuerstange G niederwärts. Ein langer Anschlag x trifft zunächst an den Griff u, schließt also wieder das Einlaßventil und zwingt dadurch den Dampf, zu expandiren. Ist der Kolben am Cylinderboden angekommen, so schließt der Anschlag y, indem er an den Griff n stößt, auch das Auslaßventil. Zu derselben Zeit ergreift auch G den Hebel g des Kataraktes, drückt ihn nieder und zieht dadurch auch die Hebel k und t in ihre vorige Stellung zurück, um sie zu einer neuen Auslösung durch das Steigen des Kataraktes fähig zu machen. In dem Moment, wo der Griff n durch den Anschlag y in seine Horizontalstellung zurückgedrückt wird, hakt die Axe m, indem sie nach rechts gedreht wird, ein Gegengewicht aus, welches den Griff v auf ähnliche Weise durch Hebelwerk nach unten zieht und dadurch das Gleichgewichtsventil S öffnet. Nunmehr kann der Kolben sich nach oben bewegen, die Steuerstange G steigt mit empor, hebt den Griff v, stellt ihn wieder in seine Horizontalstellung und schließt somit das Gleichgewichtsventil, sobald der Kolben am Cylinderdeckel angekommen ist. Die Maschine steht nun vollkommen still, während der Katarakt fortwirkt, bis nach einiger Zeit der Hebel g desselben auf's neue so weit gehoben ist, daß das Spiel der Maschine wiederum beginnen kann.

Diese complicirte Steuerung ist nur deshalb nöthig, weil das Oeffnen und Schließen der 3 Ventile in 6 verschiedenen Tempos erfolgen soll. Diese Complication ist ein Nachtheil, aber auch ein Vorzug der Cornwallmaschinen, denn sie bietet den Vortheil, den Gang willkürlich reguliren zu können. Die Regulirung der Anfangsgeschwindigkeit des Kolbens erreicht man durch Stellung des Regulatorventiles Q. Die Regulirung der Länge des Kolbenweges und der Stärke der Expansion erzielt man durch Verstellung der Anschläge oder Knaggen x, y am Steuerbaum G. Die Regulirung der Pause zwischen den einzelnen Kolbenspielen erreicht

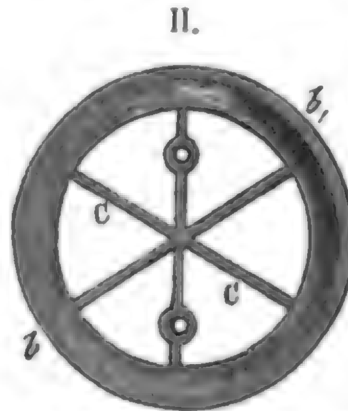
man durch Stellung des Ausflußhahnes am Katarakt. Die Construction des Kataraktes sowohl, als der Ventilsteuerung, welche immer eine *Hebelsteuerung* ist, kann übrigens sehr verschieden sein. Das Charakteristische der Hebelsteuerung ist aber immer die *Sperrklinke mit Gegengewicht*. Bei einfachwirkenden Maschinen, so wie überhaupt bei allen, an welchen keine Rotation vorkommt, läßt sich keine andere Steuerungsart anbringen. Sie bietet überdies den Vortheil eines fast momentanen Oeffnens und Schließens der Ventile. Das Schließen geschieht durch die Maschine selbst, das Oeffnen durch niederfallende Gewichte.

Für doppelt wirkende Cornwallmaschinen ist die Steuerung nicht minder complicirt. Man hat dann gewöhnlich 4 Ventile, 2 zum Einlassen, 2 zum Auslassen des Dampfes, während das Gleichgewichtsventil wegfällt. Durch früheres oder späteres Schließen der 2 Einlaßventile, mittelst verstellbarer Knaggen, bewirkt man die verschiedenen Expansionsgrade *). Die Construction der Ventile selbst verdient noch besondere Erwähnung. Es sind *Doppelventile* oder *Kronenventile*, welche schon bei Gelegenheit der Dampfventile auf dem Kessel (§. 29) erwähnt wurden. Ein gutes Ventil muß die doppelte Eigenschaft haben, sich ohne Kraftaufwand öffnen und schließen zu lassen und dabei dem Dampfe einen ungehinderten Durchgang bei geringer Erhebung des Ventiles zu gestatten. Diese, sich anscheinend widersprechenden Bedingungen sind durch die Doppelventile erfüllt. aa_1 und bb_1 sind die 2 Ventilsitze, der obere aus einem massiven Teller, der untere aus einem Ring bestehend, beide durch radiale Flügel CC verbunden. Auf diesem festen Gehäuse ruht die bewegliche Glocke DD, welche auf den Ventilsitz aa_1 nach innen, auf den Sitz bb_1 nach außen luftdicht aufgeschliffen ist. Beim Aufsitzen der Glocke auf den Ventilsitzen ist die Communication von A und B unterbrochen, der von A kommende Dampf drückt aber die Ventilglocke ebenso stark von unten, wie von oben, weil dieselbe, vermöge ihrer cylindrischen Form, nach beiden Richtungen gleiche Flächen darbietet. Das Ventil wird also mit geringem Kraftaufwand durch die Ventilstange E gehoben werden können, worauf der Dampf durch die 2 ringförmigen Räume, welche durch Pfeile angedeutet sind, nach B dringen kann.

I.



II.



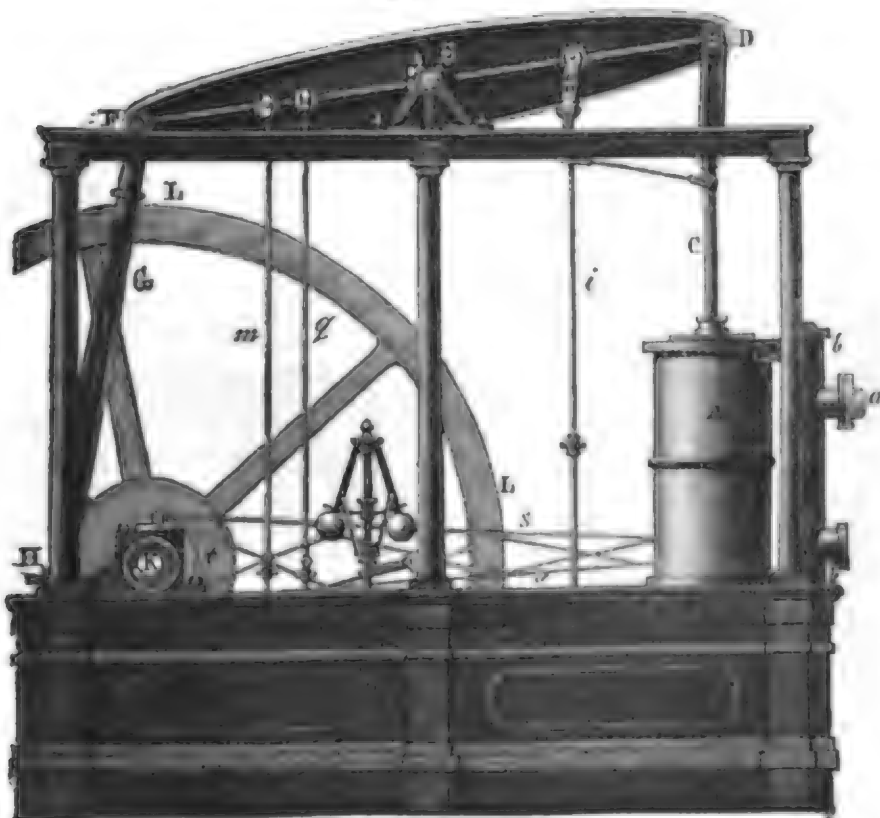
Die Bedienung der Cornwallmaschinen erfordert große Aufmerksamkeit, Um-

*) Die Abbildung einer Steuerung für eine doppeltwirkende Cornwallmaschine giebt u. A. *Weißbach* in seiner Mechanik Bd. II. §. 340, auf welche wir hier verweisen müssen, da der Raum uns nicht gestattet näher darauf einzugehen.

sicht und beständige Ueberwachung, namentlich des Kataraktes. Durch vielfache Erfahrungen ist das System dieser Maschinen aber so ausgebildet worden, daß die Nachtheile des Systems überwunden sind und die Cornwallmaschinen in Hinsicht auf ihre Ausführung, Bedienung und Leistung den ersten Rang einnehmen. Das Letztere geht schon aus den Werthen der Tabelle X. §. 24 hervor, welche aus den monatlichen Berichten entnommen sind, die über die Leistungen dieser Maschinen veröffentlicht wurden, wobei die Rivalität der Erbauer und Besitzer der verschiedenen Maschinen die Veranlassung wurde, Alles anzuwenden, um den Nutzeffect zu steigern. Der Ruf der Cornwallmaschinen gründet sich nicht nur auf die Vollkommenheit der Maschine, Kesselanlage und Feuerung, sondern auch auf die sorgfältige Vermeidung der Dampf- und Wärmeverluste in allen Theilen der Maschine, wovon im Cap. VI. die Rede sein wird. Aus diesen Gründen bilden diese Maschinen ein, in sich abgeschlossenes Mustersystem, mit welchem kein anderes, außer dem der Locomotivmaschinen, in Hinsicht auf Durchbildung und Raffinirung verglichen werden kann. Es existiren besondere Werke über diesen Gegenstand, namentlich 2 Abhandlungen von Wickfteed „on the Cornish Engines" (London, J. Weale), im Auszug in Morin „Leçons de mécan. prat. III." und Tredgold „on the steam engine", appendix G.

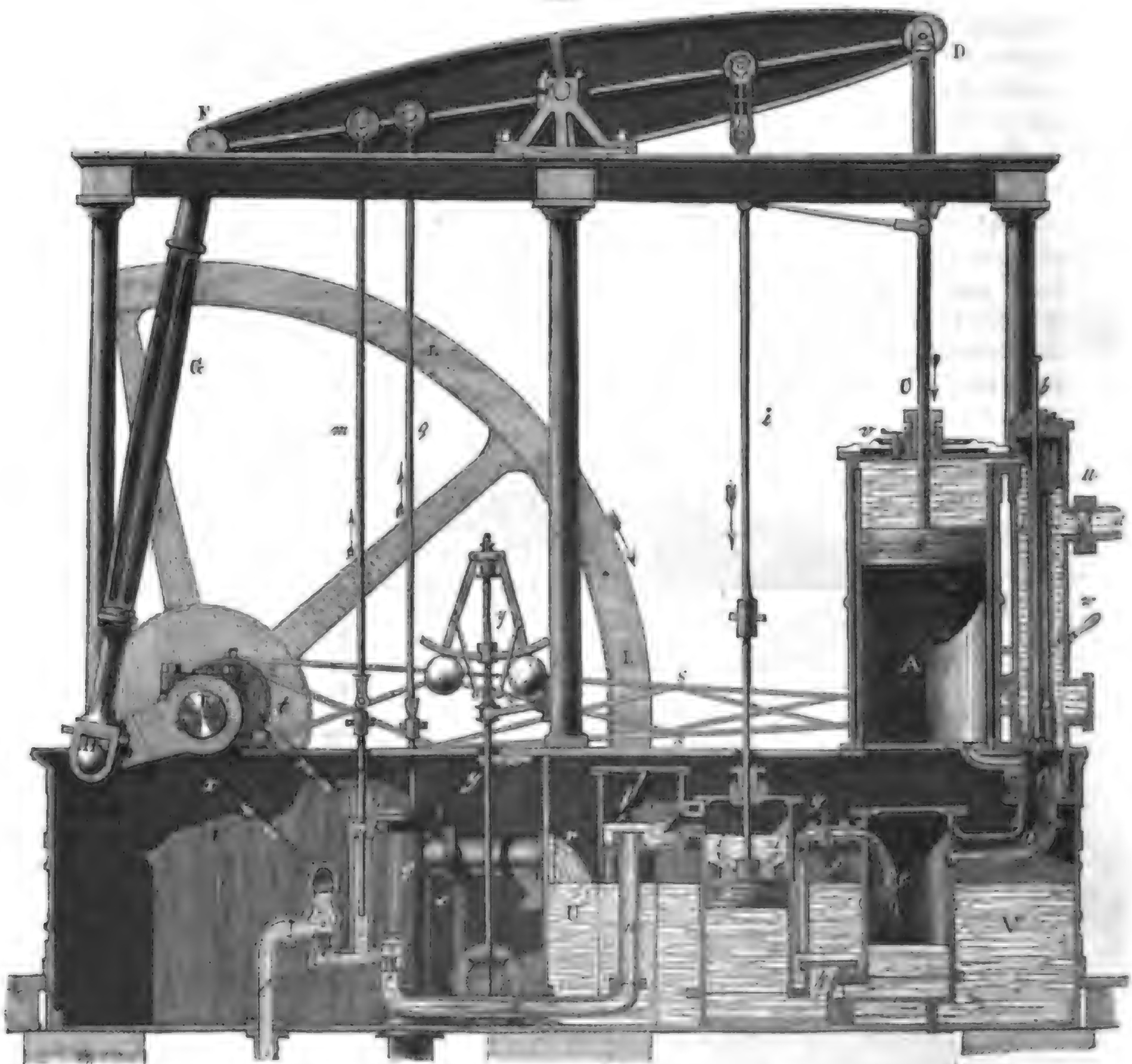
§. 36. Die Niederdruckmaschine von Watt ist eine der ältesten, aber ausgebildetsten Maschinen, welche uns Gelegenheit geben wird, noch verschiedene, auch bei anderen Maschinen angewendete Mechanismen kennen zu lernen. Die Watt'sche Maschine soll uns als Muster der rotirenden doppelt wirkenden Dampfmaschinen mit 1 Cylinder, Balancier und Condensator dienen. Die Anordnung der Bewegungsmechanismen ersieht man aus beistehender Figur I., welche

I.



eine Totalansicht der Maschine giebt. Die Einrichtung der einzelnen Theile ergiebt sich aus der Durchschnittsansicht Fig. II. *). Der Bewegungsmechanismus besteht aus folgenden Theilen: A ist der Dampfcylinder, B der Kolben mit der Kolbenstange C, welche mit dem Balancier DEF durch eine Geradführung verbunden ist, die man das Watt'sche Parallelogramm nennt. G ist eine Schubstange, welche, mit dem Ende F des Balanciers verbunden, auf die Kurbel H wirkt und vermittelst derselben die Hauptwelle K mit dem Schwungrad L in Rotation versetzt. Von der Hauptwelle aus wird die Steuerung b durch ein Excentric ts und den Winkelhebel w regiert. (Siehe Fig. II. S. 351.) Am Balancier befinden sich noch 3 Schubstangen iqm, welche die zur Condensation nöthigen Pumpen in Bewegung setzen.

II.



*) Nach Delaunay mécanique vervollständigt und ausgeführt.

Die Schubstange i, welche den Kolben der Luftpumpe bewegt, ist am Parallelogramm angehängt und wird vollkommen gerade auf und nieder geführt.

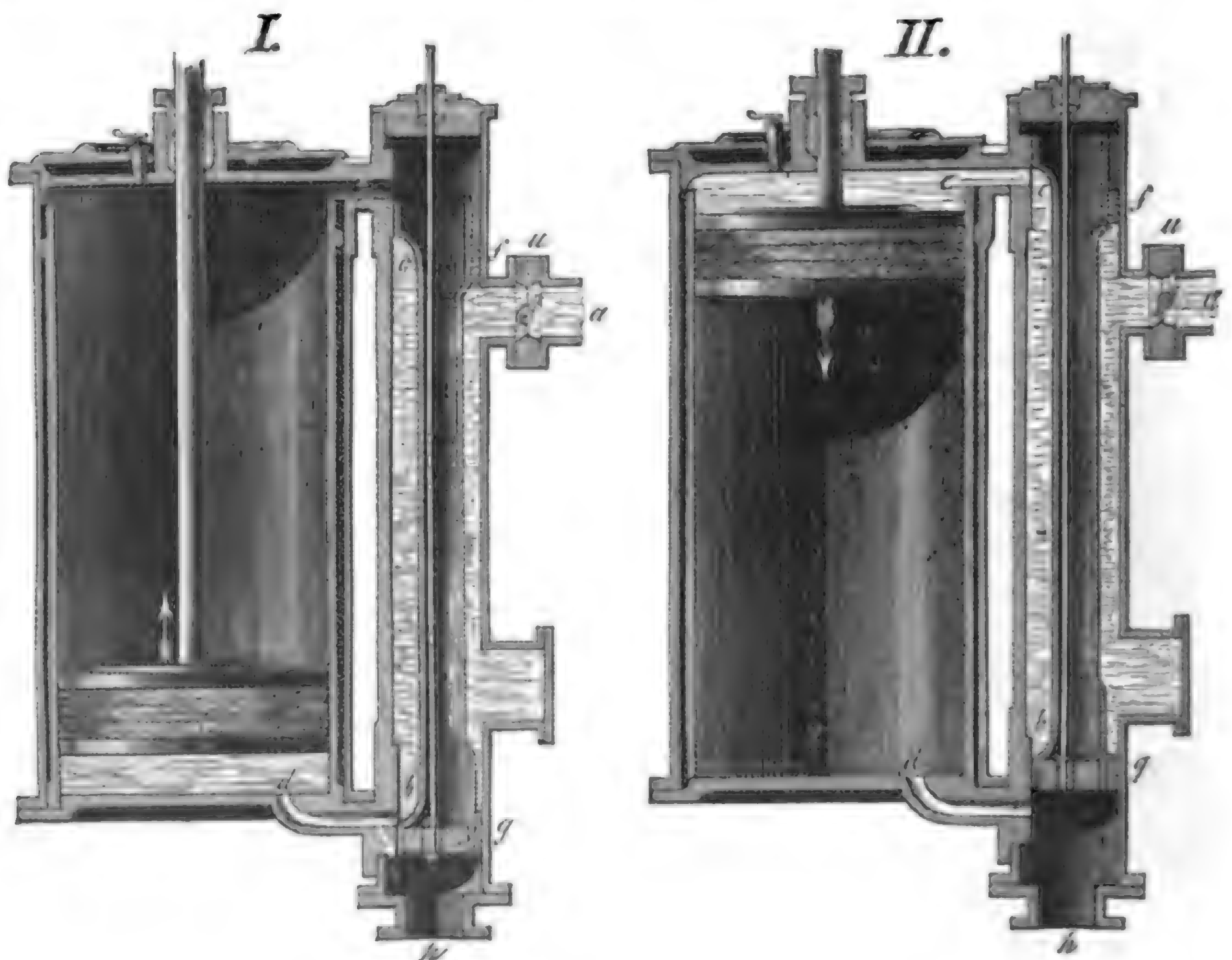
Der Dampf tritt bei a aus dem Kessel in den Steuerkasten ein und wird durch eine besondere Art von Steuerung, die wir sogleich näher betrachten werden, in dem Cylinder vertheilt. Er tritt bald über, bald unter den Kolben, wirkt mit Volldruck ohne Expansion und entweicht sodann bei c in das Abgangsrohr d, welches unmittelbar in den Condensator e führt. Das Injectionsrohr f spritzt aus einer großen, allgemeinen Kaltwassercysterne UV fortwährend kaltes Wasser in den Condensator ein. Die Menge des Condensationswassers wird durch den Injectionshahn g geregelt. Die Condensation ist eine doppelte, eine innere durch „Abschrecken" des Dampfes und eine äußere durch Abkühlen des Condensators, welcher in die Kaltwassercysterne unmittelbar eingesetzt ist. Das condensirte Wasser, welches eine Temperatur von 40° bis 50° hat, wird aus dem Condensator durch die Luftpumpe h herausgeschafft. (Siehe §. 15.) Der Kolben h ist durchbohrt und die Oeffnungen werden durch 2 Ventile i i geschlossen. Das Verbindungsrohr zwischen Condensator und Luftpumpe ist ebenfalls mit einem Klappenventil k versehen. Mit Hülfe dieser Ventile saugt der Kolben h das Wasser durch k aus dem Condensator, drückt es sodann über die Ventile i und hebt es in die Warmwassercysterne l, worin dem Wasser der Rückweg nach der Luftpumpe durch ein Klappenventil verschlossen ist. Von hieraus wird das warme Wasser durch die Speisepumpe oder Kesselpumpe m direct in den Kessel zurückgebracht, das überflüssige Wasser fließt durch ein Rohr ab. (Siehe §. 29.) Die Pumpe m saugt durch das Rohr n das Wasser an sich und drückt es durch das Rohr p nach dem Kessel. Zwei Ventile o verschließen ihm den Rückweg. Eine dritte Pumpe q, die Kaltwasserpumpe, versorgt die Cysterne UV mit Wasser. Sie ist nur dann nöthig, wenn kein freier Wasserzufluß stattfindet, für den man gewöhnlich sorgt. Das nicht gebrauchte Wasser, das sich auch langsam erwärmt, wird durch freien Abfluß beseitigt. Dieser ganze Apparat befindet sich im Fußgestell der Maschine verborgen, doch muß man leicht zu ihm gelangen und namentlich den Injectionshahn g von oben regieren können.

Bevor die Maschine in Gang gesetzt oder „angelassen" ist, befindet sich in allen Theilen, und namentlich im Dampfcylinder und Condensator Luft, die zuerst beseitigt werden muß. Der Condensator ist zu dem Zweck mit dem Dampfkessel durch ein besonderes Rohr direct zu verbinden. Vor dem Anlassen der Maschine läßt man Kesseldampf von ziemlich hoher Spannung in den Condensator strömen. Dieser Dampf treibt die Luft vor sich her, tritt durch die Ventile k und i nach l und von da in die freie Luft. Der obere Verschluß der Warmwassercysterne durch Deckel ist unnöthig. Nur der Condensator und die Luftpumpe müssen luftdicht geschlossen sein. Schließt man nunmehr das Dampfrohr am Kessel und öffnet den Injectionshahn g, so condensirt sich der ausgeströmte Dampf und stellt im Condensator und in der Luftpumpe einen beinahe luftleeren Raum her. Die Luft im Cylinder wird am einfachsten dadurch ausgetrieben, daß man die Schmierhähne v (welche oben und unten am Cylinder angebracht sind, um Oel auf den Kolben zu bringen und das überflüssige Oel, so wie Condensationswasser aus dem Cylinder abzuführen) bei den ersten Kolbenspielen öffnet und durch dieselben Dampf und Luft ausblasen läßt. Bei den Dampfschiffen beobachtet man dieses

Verfahren beim Anlassen der Maschine am besten. Diese müssen, um ein Vacuum zu erzeugen, erst einige Räderschläge thun, bevor sie mit Kraft vorwärts arbeiten können.

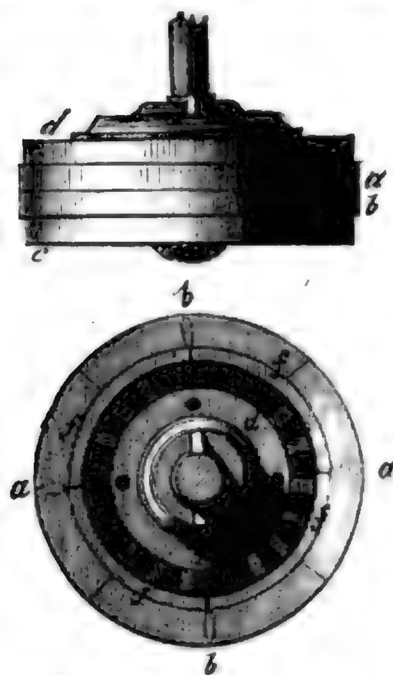
Die Regulirung des Dampfeintrittes geschieht, wenn die Maschine erst im Gange ist, durch einen Kugelregulator y, den wir bereits in §. 33 kennen gelernt haben, nur daß hier kein Expansionsventil, sondern eine einfache Drosselklappe u regulirt wird, welche das Dampfrohr a mehr oder weniger verengt oder erweitert. Der Regulator sitzt auf der Spindel y fest, welche durch Winkelräder und eine Schnure x von der Hauptwelle K in Umdrehung versetzt wird. Bei normalem Gang der Maschine schwingen die Kugeln in gewisser Entfernung von einander. Verlangsamt sich der Gang, so fallen die Kugeln zusammen, wirken auf den Winkelhebel z und dieser durch eine Zugstange auf die Drosselklappe u, wodurch diese weiter geöffnet, im entgegengesetzten Falle mehr geschlossen wird.

Die Steuerung der Maschine geschieht hier durch einen Röhrenschieber, der bei großen Cylindern vor dem Kastenschieber den Vorzug hat, daß der Dampf- und Wärmeverlust bei ihm geringer ist, weil die Dampfcanäle sehr kurz werden. c b ist die innere Weite des eigentlichen Schiebers mit den Lappen b und c. Auf dem Rücken des Schiebers sitzt noch eine, an beiden Enden offene Röhre f g mit halbkreisförmigem Querschnitt, welche sich bei f und g an die jebenfalls runde Dampfkammer stemmt und diese dampfdicht abschließt. Innerhalb des abgegrenzten Raumes f g kann aber der von a kommende Dampf um das Rohr herum in



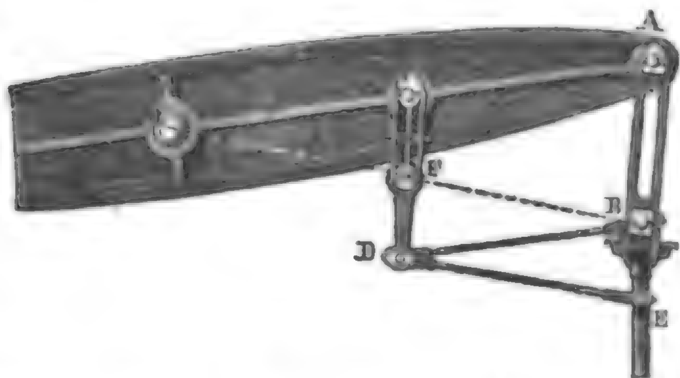
den Raum b c gelangen. Je nach der Stellung I oder II des Schiebers kann der Dampf durch die Dampfwege d und e unter oder über den Kolben treten. Beim Aufgang des Kolbens (I) strömt der benutzte Dampf bei e aus, durch das offene Rohr f g hindurch und bei h in den Condensator. Beim Niedergange (II) des Kolbens nimmt der abgehende Dampf den Weg d h. — Außer den 2 Hauptsteuerungsarten durch Schieber und Ventile, kann man noch andere mit Kolben, Klappen oder mehrfach durchbohrten Hähnen anwenden. Diese Steuerungen sind aber theils veraltet, theils nur in speciellen Fällen brauchbar. Ein Beispiel einer sehr einfachen Klappensteuerung, die auch durch einen doppelt durchbohrten Hahn ersetzt werden kann, haben wir in §. 9 bei der Leupold'schen Maschine kennen lernen.

Wir können nicht in die weiteren Details der Maschinen eingehen und müssen uns begnügen, nur 2 Haupttheile, den Dampfkolben und die Geradführung noch kurz zu erwähnen. Die in Fig. II. S. 368 abgebildeten Kolben B u. h sind mit Hanfliderung, d. h. der massive Kolbenkörper ist mit Hanfzöpfen umwickelt, die durch Deckel und Schrauben fest zusammengepreßt werden und sich dicht an die Cylinderwand anlegen. Bei Hochdruckmaschinen läßt sich die Hanfliderung aber nicht anwenden, sie nutzt sich schnell ab, hält nicht lange dicht und verursacht viel Reibung. Man hat daher für die Dampfkolben durchgängig Metallliderung eingeführt, während für die Luftpumpenkolben die Hanfliderung beibehalten ist. Ein Metallkolben besteht im Wesentlichen aus genau cylindrisch abgedrehten Metallringen a b, welche über den massiven Kolbenkörper C geschoben, von oben durch den Deckel d mit Schrauben in ihrer Lage festgehalten und nach außen, gegen den Cylinder, durch Federn f gedrückt werden. Dieses Grundprincip kann auf die mannigfaltigste Art verändert werden. Die Metallringe a und b können aus dem Ganzen bestehen, nur an einer Seite aufgeschnitten sein und durch ihre eigene Federkraft mit Keilen, die in den Einschnitt eingetrieben sind, an die Cylinderwand gepreßt werden. Oder die Ringe sind, wie in der Figur, aus 4 starken Segmenten zusammengesetzt, welche durch 4 kleinere Segmente mittelst Federn nach außen geschoben werden u. s. f. Ein vollkommen dichter Dampfschluß wird aber nicht erreicht werden, wenn man die Kolbenreibung nicht übermäßig erhöhen will. Diese wächst proportional mit der Höhe der Liderung, während der dampfdichte Verschluß gleichfalls direct mit der Höhe wächst. Man muß schon wegen der geraden Führung des Kolbens ein gewisses Verhältniß zwischen der Liderungshöhe und Cylinderweite festhalten. Tredgold sucht theoretisch zu beweisen, daß dieses Verhältniß dem Reibungscoefficienten gleich sein müsse. Wir kommen in Cap. VI. noch einmal darauf zurück.



Ein wesentlicher Bestandtheil an allen Balanciermaschinen überhaupt ist endlich noch die Geradführung. Der Balancier beschreibt einen Kreis-

bogen um seine Axe, während die Kolbenstange in gerader Linie aufsteigen soll. Man bedarf also eines Zwischengliedes zur Ausgleichung der Differenzen bei der Bewegung. Die einfachste und roheste Art haben wir bei Newcomen's Maschine in §. 6 kennen lernen. Die gebräuchlichste Geradführung ist das von Watt erfundene Parallelogramm. Drei Glieder desselben AB, CD u. BD, welche doppelt, zu beiden Seiten des Balanciers angebracht sind, bilden mit diesem ein Parallelogramm, das in den Zapfen A, B, D und C charnirt und daher die Lage seiner Seitenpaare gegen einander ändern kann. Wenn der Balancier um seine Axe O schwingt, beschreibt A einen Kreisbogen und auch B würde einen Bogen mit demselben Halbmesser OB beschreiben, wenn das Parallelogramm nicht beweglich wäre. In B ist aber die Kolbenstange eingehangen und wenn dieser Punkt geradlinig auf- und niedergeht, so beschreibt der Punkt D eine Curve, die von einem Kreisbogen nicht sehr verschieden ist.



Um also den Punkt B gerade zu führen, braucht man nur den Punkt D zu zwingen, einen Kreisbogen zu beschreiben, der seiner natürlichen Bewegung am nächsten kommt. Um das zu bewirken, hängt man den Zapfen D in ein Stangenpaar DE ein, welches in E, am Gestell der Maschine, einen festen Drehpunkt hat, um welchen der Punkt D den Kreisbogen beschreiben muß. Das Parallelogramm ist demnach gezwungen sich der Bewegung der beiden Punkte A und D gemäß, welche entgegengesetzte Kreisbogen beschreiben, zu verschieben und der Punkt B beschreibt dabei eine Linie, welche von der geraden wenig abweicht. Der Zapfen E, um welchen sich der Gegenlenker ED bewegt, kann in verschiedener Entfernung angebracht sein. Er liegt hier in der Axe der Kolbenstange und ist rechts und links von derselben am Gestell befestigt. In der Abbildung der Cornwallmaschine (S. 361) liegt der Punkt E links von der Kolbenstange, in größerer Entfernung von D. Endlich giebt es noch im Parallelogramm einen Punkt F, welcher ebenso, wie B eine gerade Linie beschreibt. Dieser Punkt liegt im Durchschnitt der Linie CD und OB und gleicht die entgegengesetzt gekrümmten Kreisbogen aus, welche mit dem Halbmesser OC und DE beschrieben werden. Man hängt in F die Kolbenstange der Luftpumpe ein und erhält dadurch mit dem Parallelogramm eine zweite Geradführung. Die auf- und absteigende Bewegung des Punktes F ist natürlich kleiner als die von B, proportional der Größe der Halbmesser OF und OB.

Wir schließen hiermit den descriptiven Theil und verweisen über das weitere Detail auf die Literatur am Ende des Artikels.

V.

Dynamische Bewegungen der Dampfmaschine *).

§. 37. Nachdem wir uns in den vorhergehenden 2 Cap. mit den Gesetzen der Dampferzeugung und mit der Construction einiger der hervorragendsten Dampfmaschinen bekannt gemacht haben, können wir die in Cap. II. verlassene Untersuchung der mechanischen Wirkung des Wasserdampfes wieder aufnehmen, betrachten dieselbe aber nicht mehr *statisch*, sondern *dynamisch*, indem wir unmittelbar an das in §. 21 und §. 24 Ausgesprochene anknüpfen.

Man kann die dynamische Bewegung der Dampfmaschine ohne Hülfe der Analysis verfolgen, wenn man die Betrachtung der Expansion vorerst bei Seite läßt. Zur praktischen Ausführung der Dampfmaschinen gehören allerdings sehr genaue und mannigfaltige Untersuchungen und Arbeiten — das Verständniß der Wirkung einer in Bewegung befindlichen Maschine ist aber sehr einfach. Dennoch brauchte man lange Zeit, bis dieses Verständniß zum Bewußtsein kam, und erst seitdem *Pambour* das Princip ausgesprochen hat, ist man sich darüber klar geworden. Die Locomotiven, welche *Pambour* speciell studirte, gaben zuerst Aufschluß über die dynamischen Bewegungen — und die durch sie erlangten Resultate wurden sodann auf alle übrigen Dampfmaschinen mit Nutzen übertragen.

Es ist leicht einzusehen, daß bei jeder, in Gang befindlichen Maschine ein *Beharrungszustand* **) *der Bewegung* eintreten muß. Wenn der Widerstand, den die Maschine zu überwinden hat, constant ist, der Kessel gleichmäßig geheizt wird und die Dampfspannung sich gleich bleibt, so verrichtet eine Dampfmaschine ihre normalen Functionen und es tritt ein gleichmäßiger Bewegungszustand ein, für welchen folgende 2 von *Pambour* gefundene Fundamentalsätze gelten.

1) *Im Beharrungszustand der Bewegung richtet sich die Dampfspannung im Cylinder nach dem zu überwindenden Widerstand, d. h. die Dampfspannung wächst so lange, bis sie dem Widerstand das Gleichgewicht hält.* — Es ist evident, daß dieses Gleichgewicht von *Kraft und Widerstand* vorhanden sein muß, weil sonst kein Beharrungszustand überhaupt möglich ist. Denn wäre die Kraft, oder der Widerstand überwiegend, so müßte die *Geschwindigkeit* im Zu- oder Abnehmen sein, und Beides widerstreitet dem Begriff des Beharrungszustandes. Das

---

*) *Der Wunsch, einen selbstständigen und in der Betrachtungsweise eigenthümlichen Artikel liefern zu können*, veranlaßte den Verfasser, der Bearbeitung der folgenden 3 Capitel die *Notizen* zu Grunde zu legen, welche er als Schüler von F. *Redtenbacher* in dessen Vorträgen über Maschinenbau sammelte. Er glaubt keinen literarischen Raub zu begehen, wenn er Bruchstücke aus *Redtenbacher's* Vorlesungen seinem Artikel einverleibt. Wäre die Literatur durch die, seit Jahren erwartete *Monographie der Dampfmaschine* aus *Redtenbacher's* Feder schon bereichert, so würde der Verfasser lediglich an diese angeknüpft haben. *Redtenbacher's* classische Werke überhaupt sind die *Hauptquelle* für Jeden, der es unternimmt, nach ihm denselben Gegenstand zu bearbeiten. Anm. d. Verf.

**) Siehe d. Art. *Mechanik*.

Charakteristische desselben ist eben, daß in ihm weder Kraft noch Widerstand vorhanden zu sein scheint, weil Beide sich aufheben, so daß die Maschine sich gleichmäßig, wie eine träge Masse fortbewegt. Die Dampfspannung im Cylinder muß sich also nothwendig nach dem Widerstand richten, welcher der Bewegung des Kolbens entgegen wirkt und mit diesem steigen und fallen.

2) Im Beharrungszustand der Bewegung richtet sich die Geschwindigkeit der Maschine nach der producirten Dampfmenge von einer bestimmten Spannung, d. h. die Production und Consumtion des Dampfes muß im Gleichgewicht sein. — Der Beharrungszustand erstreckt sich nicht nur auf die Maschine, sondern auch auf die Zustände des Kessels. Der erzeugte Dampf muß also aus dem Kessel herausgeschafft werden und dies geschieht durch die Maschine selbst, welche in Bezug auf den Kessel als Dampfpumpe betrachtet werden muß. Je mehr Dampf producirt wird, desto schneller muß die Maschine arbeiten, um diesen Dampf beseitigen zu können. Geschähe das nicht, so müßte die Spannung des Dampfes zunehmen, was gegen die Voraussetzung des Beharrungszustandes ist.

Wie die Bewegung im Einzelnen erfolgt, ist im Wesentlichen unabhängig von der Einrichtung der Maschine. Wenn wir also auch die Art der Bewegung noch nicht kennen, so wissen wir doch, daß ein Beharrungszustand eintreten muß. Denn geschähe das nicht, so müßte die Geschwindigkeit der Maschine unendlich wachsen, es müßte unendlich viel Dampf producirt werden oder die Spannung müßte unendlich groß werden, was unmöglich ist.

Ist der Beharrungszustand eingetreten, so wird die Bewegung der Maschine zwar constant sein, aber nicht absolut gleichmäßig. Es tritt ein periodischer Beharrungszustand ein, so daß nach jedem Kolbenschub, d. h. nach jeder halben Umdrehung, die Maschine auch die gleiche Geschwindigkeit hat. Da die lebendige Kraft der Maschine immer dieselbe bleibt, so erhalten wir also den Satz:

3) Die producirte Wirkung muß während einer halben Umdrehung der Maschine consumirt werden. Denn geschähe das nicht, so müßte sich die Geschwindigkeit der Maschine in jeder einzelnen Bewegungsperiode ändern. Ist Q die Kraft, mit welcher man senkrecht auf die Kurbel drücken müßte, um den ganzen Widerstand zu überwinden, ist P die Kraft, mit welcher der Kolben vorwärts geschoben wird, und r der Halbmesser der Kurbel: dann ist die producirte Wirkung des Dampfes bei jedem einzelnen Kolbenhub $= P \cdot 2r$, weil die Kurbel halb so lang ist, als die Höhe des Kolbenschubes. Die Wirkung, welche der Widerstand bei einer halben Umdrehung (oder einem ganzen Kolbenschub) consumirt, ist $= Q \cdot r \cdot \pi$. Im Beharrungszustand müssen beide gleich, also:

$$(1) \quad P \cdot 2r = Q \cdot r \cdot \pi \text{ sein.}$$

Daraus folgt $P = \frac{\pi}{2} \cdot Q$ oder das Verhältniß

$$(2) \quad \frac{P}{Q} = \frac{\pi}{2}.$$

Dieses Verhältniß stellt sich ganz von selbst her und man hat nur dafür zu sorgen, daß es für eine gegebene Dampfspannung im Kessel eintritt.

Hierbei ist noch zu bemerken, daß unter wirksamem Druck immer die Dampfspannung im Cylinder zu verstehen ist. Im Kessel kann die Spannung ganz verschieden davon, in jedem Fall wird sie aber höher sein.

§. 38. Zum bessern Verständniß der obigen 3 Sätze möge hier ein Beispiel folgen. Wir nehmen eine Hochdruck-Dampfmaschine (Locomotive) ohne Condensation an, deren Cylinderquerschnitt $A = \frac{1}{3}$ Quadratm., Kolbenhub $h = 1$ Meter, also Halbmesser r des Kurbelkreises $= \frac{1}{2}$ Meter ist. Das Dampfvolumen, welches ein Kolbenschub consumirt, ist also $\frac{1}{3}$ Cubikmeter, wenn wir von den Dampfcanälen 2c. absehen. Der Gegendruck der Atmosphäre auf den Kolben betrage 1 Kilogramm auf den Quadratcentimeter. Der Gesammtwiderstand der Maschine sei überhaupt so groß, daß auf jeden Quadratcentimeter des Kolbens ein Druck von 6 Klgr. ausgeübt werden muß, um ihn zu überwinden. Sehen wir nun von der Reibung 2c. ab, so wird der Dampfkolben mit einer Kraft von $6 - 1 = 5$ Klgr. per Quadratcentim. fortbewegt werden. Der Gesammtdruck P auf den Kolben ist $\frac{10000}{3} \cdot 5$ Klgr. $= 16665$ Klgr. Folglich muß nach Formel (2) §. 37 der Gesammtwiderstand $Q = \frac{2}{\pi} \cdot 16665 = 10612$ Klgr. sein. Mit dieser Maschine machen wir folgende Experimente.

a) Wir öffnen das Dampfventil am Kessel erst, wenn das Manometer *) 8 Atmosphären Spannung anzeigt, d. h. wenn der wirksame Ueberdruck auf den Kolben circa 7 Klgr. per Quadratcentim. beträgt. Es sind folglich 2 Klgr. Druck per Quadratcentim. mehr vorhanden, als der Widerstand erfordert. Dieser Ueberschuß giebt zunächst den Antrieb und bewegt die Maschine immer schneller vorwärts. Es tritt eine Massenbeschleunigung ein, welche ein Maximum erreicht und sodann wieder abnimmt. Denn je schneller die Bewegung wird, desto mehr wird Dampf aus dem Kessel herausgepumpt, die Spannung nimmt ab und zwar so lange, bis sie 6 Atmosphären wird und folglich dem Gesammtwiderstand entspricht. Nunmehr tritt Gleichgewicht zwischen Kraft und Widerstand ein, es ist kein Grund vorhanden, weshalb eine Aenderung der Geschwindigkeit der Maschine, oder der Dampfspannung im Kessel eintreten soll, d. h. der Beharrungszustand beginnt. Wir nehmen nun an, daß 1 Klgr. Dampf per Secunde im Kessel producirt werde. Diese Dampfmenge muß auch consumirt werden und darnach richtet sich die Kolbengeschwindigkeit. Den Dimensionen des Cylinders gemäß wird der Cylinder bei jedem Kolbenschub mit $\frac{1}{3}$ Cubikmeter Dampf von 6 Atmosphären Spannung gefüllt. 1 Cubikmeter Dampf von 6 Atmosphären wiegt 3 Klgr. *), folglich 1 Cylinder voll, 1 Klgr. Da nun auch 1 Klgr. Dampf im Kessel per Secunde producirt wird, so muß der Kolben per Secunde einen Schub, die Maschine also in 2 Secunden 1 Umdrehung, d. h. in der Minute 30 Touren machen.

*) Siehe §. 30.
**) Siehe Tabelle I. §. 19.

b) Wir nehmen nunmehr an, daß die Verhältnisse des Kessels und der Heizung der Art seien, daß per Secunde 2 Klgr. Dampf producirt werden, während alles Uebrige unverändert bleibt. Da der Widerstand sich nicht geändert hat, so wird, nach erfolgtem Eintritt des Beharrungszustandes die Dampfspannung im Cylinder abermals 6 Klgr. betragen. Da nun der Kolben per Schub $^1/_3$ Cubikmeter dieses Dampfes, oder 1 Klgr. aus dem Kessel herausschafft, per Secunde aber 2 Klgr. in letzterem producirt werden, so muß die Maschine auch per Secunde 2 Schub, d. h. per Minute 60 Touren machen. Die Geschwindigkeit ist also die doppelte geworden, weil die Dampfproduction bei gleichem Widerstand die doppelte geworden ist. — Allerdings erleiden diese Fundamentalgesetze noch einige Modificationen, die wir aber erst später zu betrachten haben.

c) Jetzt werde der Widerstand Q so sehr vermindert, daß ein Druck von 3 Klgr. per Quadratcentim. hinter dem Kolben genügt, um diesen Widerstand zu überwinden. Im eingetretenen Beharrungszustande wird also der Dampf nur 3 Atmosphären Spannung besitzen und von diesem Dampf wiegt 1 Cubikmeter 1,62 Klgr., also $^1/_3$ Cubikm. = 0,54 Klgr. 1 Klgr. dieses Dampfes füllt also den Cylinder $\frac{1}{0{,}54}$ oder circa 2 Mal. Setzen wir nun voraus, daß wie bei a) 1 Klgr. Dampf per Secunde im Kessel producirt werde, so erhalten wir die Anzahl der Umdrehungen der Maschine per Minute zu $\frac{1}{0{,}54} \cdot \frac{60}{2} = 55{,}5$. Nehmen wir aber an, daß wie bei b) 2 Klgr. Dampf per Secunde producirt werden, von ebenfalls 3 Atmosphären Spannung, so würde die Maschine 55,5 . 2 = 101 Touren per Minute machen. Sie läuft also in beiden Fällen schneller, weil der Widerstand bei gleicher Dampfproduction geringer ist. Man sieht aber daraus, daß die Geschwindigkeit der Bewegung nicht allein von der producirten Dampfmenge, sondern auch von der Spannung, d. h. von dem Gewicht dieses Dampfes abhängt *).

§. 39. Unter welchen Umständen nun die Dampfmaschine günstig oder ungünstig wirken wird, ist die nächste Frage, deren Beantwortung aber schon im Vorhergehenden enthalten ist. Wir wissen, daß der Dampfdruck hinter dem Kolben theilweise dazu verwendet werden muß, um die ziemlich constante Größe des atmosphärischen Gegendruckes und der Reibungswiderstände ꝛc. zu überwinden. Die Differenz zwischen dieser Constanten und dem ganzen Dampfdruck giebt den nützlichen Ueberdruck, welcher die nützlichen Widerstände zu überwinden hat und sich nach der Größe derselben richtet. Je größer die Differenz zwischen beiden Pressungen, desto größer der nützliche Ueberdruck und desto günstiger die Wirkung der Maschine. Ist der Hinterdruck einer Hochdruckmaschine z. B. 10 Atmosphären, der Vorderdruck 1 Atmosphäre, so arbeitet die Maschine mit $^9/_{10}$ nützlicher Kraft. Ist dagegen das Verhältniß beider Pressungen wie 2 : 1, so wird nur die eine Hälfte

*) Es ist schon in §. 19 erwähnt worden, daß Pambour seinen Betrachtungen das relative Dampfvolumen zu Grunde legt, während Redtenbacher statt dessen die absolute Dichte, oder das Gewicht des Dampfes einführte. Wir folgen hier durchgängig dem Letzteren. Uebrigens sind beide Größen nach §. 19 leicht auf einander zu reduciren.

des Dampfdruckes verwendet und die andere Hälfte geht verloren. Wir erhalten also den Satz:

4) Die Dampfmaschine wird um so günstiger wirken, je größer die Differenz zwischen Hinterdruck und Vorderdruck ist. Je höher also die Dampfspannung bei Hochdruckmaschinen, je niedriger die Spannung im Condensator bei Niederdruckmaschinen, desto günstiger das Resultat. Alle Ursachen, welche dahin wirken, daß eine hohe Dampfspannung eintritt, begünstigen den Nutzeffect.

Wir haben folglich zu untersuchen, auf welche Weise man eine Dampfmaschine einzurichten hat, daß sie den günstigsten Nutzeffect ausübt. Zunächst ist klar, daß der Nutzeffect so groß sein muß, als die Widerstände erfordern, und die normale Geschwindigkeit verlangt. Die zur Vollbringung einer gewissen Arbeit erforderliche Wirkungsgröße muß der Motor vermittelst der Kraftmaschine produciren. Aber der Nutzeffect wird nur bei der normalen Geschwindigkeit am günstigsten sein, welche für diese Arbeit am vortheilhaftesten erscheint. Dieser Nutzeffect muß jedoch mit dem geringsten Aufwand von Dampf und Brennmaterial hervorgebracht werden, d. h. es muß dafür gesorgt werden, daß die Spannung im Cylinder nicht zu niedrig werden kann und daß der Hinterdruck stets im richtigen Verhältniß zum Vorderdruck steht. Bei Niederdruckmaschinen stellt sich dieses Verhältniß natürlich ganz anders heraus, als bei Hochdruckmaschinen. Halten wir letztere fest, so ist vor Allem zu bedenken, daß eine übermäßig hohe Dampfspannung weder vortheilhaft noch nöthig ist. Bei hoher Spannung ist eine gute Instandhaltung der Maschine schwer zu erzielen, während der Vortheil, wenn man z. B. von 5 auf 7 Atmosphären steigt, nur im Verhältniß von $1/_5$ zu $1/_7$ steigt. Wir stellen also einen Dampfdruck von 4 bis 6 Atmosphären, im Mittel 5 Atmosphären fest, mit welchem die Hochdruckmaschine arbeiten soll, der sich also ganz von selbst herstellen muß, wenn die Maschine vortheilhaft construirt ist. So wenig aber die Dampfspannung gleichgültig ist, so wenig ist es die Geschwindigkeit, mit welcher die Maschine arbeiten soll. Diese muß man unabhängig von der Maschine bestimmen können, denn sie ist durch die Arbeitsverhältnisse, durch die Transmission 2c. schon gegeben. Zu große Geschwindigkeit ist nicht gut, weil die Maschinentheile sämmtlich darunter leiden. Zu geringe Geschwindigkeit erfordert zu große Maschinen und zu starke Wellen. Wir stellen also auch eine gewisse Geschwindigkeit fest und sorgen nun dafür, daß diese Verhältnisse durch das freie Spiel der Naturkräfte eintreten. Da nun Widerstand und Dampfspannung, Geschwindigkeit und Dampfproduction, kurz der ganze Beharrungszustand schon im Voraus festgesetzt ist, so folgt:

5) Man hat dem Dampfcylinder nur den richtigen Durchmesser zu geben, damit der Beharrungszustand unter den Verhältnissen eintrete, welche man als die normalen festgesetzt hat.

Ist also A der Querschnitt des Kolbens, v die mittlere Geschwindigkeit desselben und p der nützliche Ueberdruck, so ist der Effect der Maschine

(3) $E = A \cdot p \cdot v$, woraus folgt

(4) $$A = \frac{E}{p \cdot v.}$$

Ist z. B. der Kesseldruck 5 Atmosphären, der nützliche Ueberdruck also 4 Atmosphären, die mittlere Kolbengeschwindigkeit 1 Meter per Secunde und soll der zu erreichende nützliche Effect 40 Pferdekraft betragen, so ist p = 4 Klgr. per Quadratcentim., $v = 1^m$ und $E = 40 \cdot 75$ Kilogrm., also $A = \frac{40 \cdot 75}{4 \cdot 1} = 750$ Q.-Centim. d. h. der Kolbendurchmesser nahe 31 Cm. oder 1 preuß. Fuß. Nun kommt es nur noch darauf an, daß man den Kessel so groß macht und denselben so stark heizt, als die Dampfconsumtion dieses Cylinders bei gegebenem Inhalt und gegebener Geschwindigkeit verlangt.

§. 40. Die Länge oder Hubhöhe des Cylinders ist hierbei nicht berücksichtigt. Es bleibt uns also noch übrig, den Einfluß der Hauptdimensionen des Cylinders auf die Leistung der Maschine zu untersuchen. Wir erreichen das am einfachsten durch vergleichende Versuche an verschiedenen Maschinen. Um zunächst

a) den Einfluß des Cylinderdurchmessers kennen zu lernen, nehmen wir eine bestimmte Maschine mit bekannten Dimensionen und Widerständen an, deren Dampfspannung im Cylinder im Beharrungszustande 3 Atmosphären betrage. Wir vergleichen mit dieser eine zweite Maschine, welche ganz dieselben Verhältnisse hat, nur einen Cylinder mit halb so großem Querschnitt. Tritt bei dieser Maschine der Beharrungszustand ein, so muß wiederum der Dampfdruck auf den Kolben dem Widerstande das Gleichgewicht halten. Da nun der Hauptwiderstand derselbe geblieben ist, während der Kolbenquerschnitt halb so groß ward, so muß zur Erreichung des erforderlichen Druckes die Intensität desselben per Quadratcentimeter wachsen und es wird folglich eine Dampfspannung eintreten, die ungefähr doppelt so groß ist, als die der ersteren Maschine. Diese zweite Maschine mit kleinerem Cylinder wird aber eine etwas schnellere Bewegung haben, da das Verhältniß zwischen Vorderdruck und Hinterdruck günstiger geworden ist, also die Maschine einen besseren Nutzeffect giebt. Im Allgemeinen ist also durch einen kleineren Cylinder eine bessere Wirkung erzielt worden, freilich auf Kosten einer höheren Dampfspannung, welche zu mancherlei Uebelständen führt. — Man ersieht aber daraus, daß die Größe des Cylinderdurchmessers an und für sich eine vollkommen gleichgültige ist, ein Grundsatz, welcher allerdings der veralteten Ansicht, daß der Cylinderquerschnitt von großem Einfluß sei, geradezu widerspricht. Früher dachte man gar nicht an den Kessel und die Dampfproduction, und suchte das ganze Geheimniß des Beharrungszustandes, über den man sich nicht einmal klar war, im Cylinder.

Setzt man allerdings eine ganz bestimmte Geschwindigkeit und eine normale Dampfspannung fest, so ergiebt sich daraus nach §. 39 ein ganz bestimmter Durchmesser, aber die Leistung einer Maschine wird durch große Cylinder bei gegebenem Widerstand nicht befördert, sondern verringert, weil dadurch, unter sonst gleichen Umständen die Dampfspannung und folglich auch der Nutzeffect verringert wird *).

*) Dem Verfasser wurde von sogenannten Praktikern gegen die Brauchbarkeit der Redtenbacher'schen Formeln wiederholt eingewendet, „daß sie zu kleine Cylinderdurchmesser geben"! Wenn der Kessel zu klein gebaut, die Feuerung unzureichend, oder der Widerstand

Ein Gleiches gilt b) von dem Einfluß der Länge des Kolbenschubes. Um ihn kennen zu lernen, betrachten wir eine dritte Maschine, welche mit den ersten gleichen Cylinderdurchmesser, aber nur halb so langen Kolbenschub hat. Dadurch wird auch die Kurbel, d. h. der Hebelarm der Last, nur halb so lang, während der Widerstand derselbe geblieben ist. Deshalb muß nach Formel (1) §. 37 der, auf die Kurbel reducirte Druck Q, jetzt doppelt so groß, also 2 Q werden. Da nun P von Q abhängt, so muß auch diese Größe sich ändern, d. h. die Dampfspannung wird abermals ziemlich um das Doppelte wachsen. War früher das Verhältniß zwischen Vorderdruck und Hinterdruck wie 3 : 1, wurde also der Kolben mit 2 Atmosphären Ueberdruck vorwärts getrieben, so wächst jetzt das Verhältniß auf 5 : 1, weil bei doppelter Kraft 4 Atmosphären Ueberdruck erforderlich sind. Weil nunmehr $^4/_5$ des Druckes nutzbar sind, ist auch der Nutzeffect günstiger, bei gleicher Dampfproduction und gleichem Widerstand muß daher die Maschine schneller arbeiten. Zur größeren Deutlichkeit verfolgen wir noch das Beispiel c) in §. 38. Das Cylindervolumen war $^1/_3$ Kbkm., der Dampf hatte 3 Atmosphären Spannung, ein Cylinder voll Dampf wog also 0,54 Kilogr. Nehmen wir jetzt an, daß der Dampfkessel so beschaffen sei, daß per Secunde gleichfalls nur 0,54 Klgr. Dampf producirt werden können, so macht die Maschine per Secunde 1 Zug, also per Min. 30 Touren. Verringern wir jetzt das Cylindervolumen auf $^1/_6$ Cbmeter, indem wir einen Cylinder von der halben Hubhöhe einsetzen, so wird die Dampfspannung bei gleicher Dampfproduction auf 5 Atmosphären steigen. Von diesem Dampf wiegt ein Cubikmeter 2,59 Klgr., also ein Cylinder voll $\frac{2,59}{6} = 0,43$ Klgr. Da nun 0,54 Klgr. Dampf per Secunde producirt werden, so consumirt 1 Schub des Cylinders nicht mehr so viel Dampf, als producirt wird. 1 Tour von 2 Zügen braucht 0,43 . 2 Klgr. und bei n Touren per Minute brauchen wir $\frac{0,43 . 2 . n}{60}$ Klgr. Dampf per Secunde. Dies der producirten Dampfmenge gleich gesetzt, giebt $0,43 . 2 . n = 0,54 . 60$ woraus $n = 37$ Touren. Die Maschine macht also bei gleicher Dampfproduction 7 Touren mehr.

Aus Allem geht hervor, daß jede Maschine, die gut ausgeführt ist, vollkommen dampfdicht schließt und wenig Reibungswiderstände bietet, auch einen guten Nutzeffect geben wird, sobald man ihr einen Widerstand aufbürdet, zu dessen Ueberwindung sie einer hohen Dampfspannung bedarf *). Die beiden ersten Fundamentalsätze in §. 37 hat Pambour

falsch bestimmt ist — dann wird die Schuld auf die Formel geschoben, anstatt sich an den Kessel und den Heizer zu halten, der für die normale Spannung und Dampfproduction zu sorgen hat. Anmerk. d. Verf.

*) Dieser Satz ist schon wiederholt in §§. 20, 23 und 24 als Folge der verschiedensten Voraussetzungen ausgesprochen worden. Holtzmann (Gase und Dämpfe) mit seinem Satz der Aequivalenz der Temperatur- und Gewichtserhebung kommt zu demselben Resultat (S. 37 und 40), wie hier Redtenbacher bei einer davon ganz verschiedenen Betrachtung. Ein Gleiches ergab sich bei Vergleichung der Werthe in den Tabellen VII. und X. im Cap. II. Anmerk. d. Verf.

zuerst aufgestellt. Alle übrigen Sätze, besonders aber das Princip des Verhältnisses zwischen Vorderdruck und Hinterdruck, sind von Redtenbacher ausgesprochen *).

Daß diese Sätze aber erst mit den Locomotiven zum Bewußtsein kamen, rührt von dem Verfahren her, welches man früher bei Construction der stationären Maschinen befolgte. Man baute alle Maschinen nach festen Regeln und zwar nach dem Watt'schen Muster. Die Watt'schen Maschinen hatten aber alle gleiche Kolbengeschwindigkeit, waren sich geometrisch ähnlich, schlossen daher jede Mannigfaltigkeit, also auch die Möglichkeit aus, ein Gesetz mit denselben zu finden. Mit Benutzung der Locomotiven traten aber ganz neue Verhältnisse und eine Mannigfaltigkeit der Erscheinungen ein, welche man früher nicht kannte. Die Last, die Steigungsverhältnisse, die Geschwindigkeit und die Brennstoffmenge wechselten, die alten Regeln, die ohnehin Nichts erklärten, wurden umgestoßen und so entwickelte sich aus der Praxis eine Theorie, welche mit ihr vollkommen in Einklang sein mußte. Namentlich wurde das Vorurtheil über den Einfluß des Cylinderdurchmessers umgestoßen und das Problem der Geschwindigkeit gelöst, woran selbst Theoretiker wie Wood ihren Scharfsinn vergeblich geprüft hatten.

VI.

Widerstände und Verluste bei der Dampfmaschine.

§. 41. Zu den vorhergehenden 5 Hauptsätzen über die dynamische Bewegung der Dampfmaschine müssen wir unmittelbar noch 2 Sätze über die Widerstände und Verluste hinzufügen, die an sich schon klar sind. Nämlich

6) Bei jeder Dampfmaschine sollen die Reibungswiderstände, so wie alle Widerstände, welche die Maschine als solche verursacht, ein Minimum werden. Dies muß einestheils wegen der Kraftersparniß zur Ueberwindung dieser passiven oder schädlichen Widerstände gefordert werden, anderntheils zur Vermeidung der Abnutzung der Maschinentheile. So wie eine Abnutzung in den Haupttheilen einer Dampfmaschine eintritt, hört der dampfdichte Verschluß und eine günstige Wirkung von selbst auf, denn:

7) Bei der Dampfmaschine darf so wenig als möglich Dampf und Wärme verloren gehen. Dampfverlust ist Kraftverlust, Wärmeverlust ist Kohlenverlust. — Beides zu vermeiden, gebietet ebenso die Oekonomie der Maschine als die des Geldbeutels.

Wir betrachten zunächst A) die Quellen der Widerstände, und zwar

---

*) Pambour kam auf diese Sätze nicht, weil er sich von einem Irrthum nicht befreien konnte, der seiner Theorie Schaden that. Er konnte sie nicht in völlige Uebereinstimmung mit der Praxis bringen und erweckte deshalb Vorurtheile, welche der Annahme der ganzen Theorie hinderlich waren. Anmerk. d. Verf.

1) die Differenz der Dampfspannungen im Kessel und Cylinder. Dies Verhältniß hängt zunächst von den Hindernissen ab, welche dem Dampf entgegenwirken, sobald er aus dem Kessel in den Cylinder tritt, als: lange, enge und oft gekrümmte Dampfrohre, Verengungen, wenig geöffnete Klappen, enge Dampfcanäle im Cylinder ꝛc. Ein Hauptmoment ist ferner die Geschwindigkeit des Kolbens. Die Differenz der Dampfspannungen im Kessel und Cylinder würde trotz der Hindernisse der Einströmung eine geringe sein, so lange der Kolben sich nur langsam bewegt. Ist aber die Kolbenbewegung schnell, so soll der Dampf auch ebenso schnell nachströmen, und dazu ist eine bedeutende Differenz der Pressungen nöthig. Dem widerspricht aber die Forderung, im Dampfcylinder eine möglichst hohe Spannung zu halten.

Ein drittes Moment ist die Bewegungsart des Kolbens. Sie ist keine gleichförmige, sondern eine Sinus-versus-Bewegung *), welche anfangs Null ist, in der Mitte ihr Maximum erreicht und am Ende wieder Null wird. Anfangs ist demgemäß auch die Differenz der Dampfspannungen gering, der Dampf trifft mit vollem Druck auf den Kolben. Sobald der Antrieb, theilweise durch Stoß, gegeben ist, wird die Bewegung des Kolbens schneller und in der Mitte endlich so groß, daß der Kolben dem Dampfe voraus eilt, der Dampf expandirt, die Dampfspannung im Cylinder also gering und die Differenz der Pressungen groß wird. Am Ende der Bewegung ist daher die Geschwindigkeit des Dampfes größer, als die des Kolbens, der erstere stößt wieder auf den letzteren und wirkt mit vollem Druck, wenn der Kolben still steht **). Um diesen doppelten Nachtheil möglichst zu vermeiden und wenigstens am Ende des Kolbenlaufes den unnützen Dampfdruck zu vermeiden, läßt man den Schieber voreilen ***). Bei allen Maschinen hält man aber ohnedies die Spannung im Kessel höher als im Cylinder, indem man die Dampfklappe bei der Normalbewegung nur zur Hälfte öffnet. Dies geschieht, um vorräthige Dampfkraft zu haben für Ueberwindung momentaner großer Widerstände. Der Regulator erhält die Gleichförmigkeit der Bewegung durch Regulirung der Klappe ****).

2) Differenz zwischen Vorderdruck und Hinterdruck. Sie soll möglichst groß, also der Gegendruck auf den Kolben möglichst gering sein. Bei Hochdruckmaschinen kann er nie geringer als 1 Atmosphäre, wird aber in allen Fällen höher sein, weil die Widerstände dazu kommen, welche der Austritt des Dampfes verursacht. Erschwert man den Austritt, so erhält man starken Gegendruck und daher eine verminderte Kolbengeschwindigkeit. Die Austrittsöffnung muß also groß, die Röhrenlänge gering sein, Krümmungen sind möglichst zu vermeiden. Für geringe Kolbengeschwindigkeit entweicht der Dampf, trotz der Hindernisse, schnell genug, wird also die Kolbengeschwindigkeit nicht vermindern. Bei großer Kolbengeschwindigkeit werden die Verhältnisse weit ungünstiger. Wir erhalten also aus 1) und 2) schon die constructive Regel: Alle Ursachen, welche

---

*) Siehe d. Art. Bewegung.

**) Vergleiche damit §. 2 über die Wurfbewegung des Dampfes; ebenso das S. 362 bei Gelegenheit der Steuerung der Cornwallmaschinen Ausgesprochene.

***) Siehe §. 31 und 32.

****) Siehe §§. 33 und 36.

dahin wirken, daß hinter dem Kolben eine gleichmäßige und vor dem Kolben eine schwache Spannung zu rechter Zeit eintritt, begünstigen die Leistung der Maschine. Folglich sind weite Dampfcanäle und geringe Kolbengeschwindigkeit vortheilhaft.

§. 42. 3) Reibungswiderstände *), welche durch den Dampfdruck selbst hervorgebracht werden. Vor allem gilt der Grundsatz, die Reibungen nicht statisch, sondern nach Wirkungsgrößen zu beurtheilen. Der Dampf übt im Allgemeinen die gesammte Pressung p auf die Gesammtausdehnung einer Fläche aus, welche sich ihm darbietet. Ist f der Reibungscoefficient dieses Körpers, so ist p f der Widerstand desselben, welcher während des Weges e zu überwinden ist. Also ist die Wirkungsgröße w, welche durch den Dampf selbst entwickelt werden muß, um den Körper zu bewegen, $w = p \,.\, f \,.\, e$. Es ist dabei hervorzuheben, daß es sich nicht um den absoluten Werth der Reibung handelt, sondern nur um das Verhältniß zwischen dem Gesammtdruck und dem, zur Ueberwindung der Reibung nöthigen Druck, also um den procentischen Verlust an Wirkungsgröße. Fragen wir im Allgemeinen, mit welchem Druck ϱ per Quadratcentimeter der Dampf auf den Kolben wirken muß, um während der Länge l eines Kolbenschubes, bei dem Querschnitt O, die Wirkungsgröße w der Reibung in der Maschine zu überwinden, so erhält man die Gleichgewichtsgleichung zwischen Kraft und Widerstand

$$(5) \qquad O \,.\, l \,.\, \varrho = p \,.\, f \,.\, e \text{ und daraus}$$

$$(6) \qquad \varrho = p \,.\, f \,.\, \frac{e}{O \,.\, l}.$$

Aus dem Verhältniß zwischen ϱ zu dem Volldruck P per Q.-Centim. ergiebt sich, um wieviel der Gesammtdruck des Dampfes geschwächt werden muß, um den Gesammtwiderstand zu überwinden.

a) Anwendung auf die Reibung der Schiebersteuerung. Diese Reibung ist bedeutend, weil die Dampfcanäle weit sein sollen, also der Schieber eine große Ausdehnung erhält, auf welche aber ein doppelter Dampfdruck wirkt, nämlich der Vorderdruck des Cylinders und der Hinterdruck des Kessels. Der Druck p wird also gefunden, wenn man beide Pressungen mit den entsprechenden Schieberflächen multiplicirt und von einander abzieht. Die Wirkungsgröße wird sehr bedeutend sein, wenn der Weg e des Schiebers nicht sehr gering ist. Man erhält also die Regel, den Weg des Schiebers so klein als möglich zu machen. Nach Formel (6) ist der Weg e, der ungefähr die doppelte Höhe der Einströmungsöffnungen beträgt, durch das Cylindervolumen O . l zu dividiren. Die Schieberfläche wird aber ungefähr der Kolbenfläche proportional sein, folglich ist auch p dem O proportional, und man behält nun das Verhältniß $\frac{e}{l}$ in der Rechnung. In dem Maße, als dieses Verhältniß kleiner, ist auch der Verlust geringer. Nach Redtenbacher **) ist der Querschnitt der Dampfcanäle gewöhnlich $^1/_{30}$ vom Cylinderquerschnitt, also die äußere Schieberfläche mit den Lappen $^5/_{30}$,

---

*) Vergleiche §. 15.
**) Resultate §. 264 ff.

die innere $^3/_{30}$ des Kolbenquerschnittes. Auf die äußere Fläche wirkt der Hinterdruck P, auf die innere der Vorderdruck P_1, also ist

$$p = (^5/_{30} \,.\, O \,.\, P) - (^3/_{30} \,.\, O \,.\, P_1) = \frac{(5 \,.\, P - 3\, P_1)}{30} \,.\, O.$$

Nehmen wir nun P = 5, $P_1 = 1$ und $f = {}^1/_{10}$ *) an, so ist

$$(7) \quad \varrho = \frac{(5P - 3P_1)}{30} \,.\, O \,.\, f \,.\, \frac{e}{O \,.\, l} = \frac{22}{30} \,.\, O \,.\, \frac{1}{10} \,.\, \frac{e}{O \,.\, l} = \frac{22}{300} \,.\, \frac{e}{l}$$

Die Schiebergröße und Schieberbewegung wird sich wenig ändern, ob der Cylinder lang oder kurz ist. Das relative Verhältniß $\frac{e}{l}$ wird daher bei langen Cylindern sehr günstig, bei kurzen ungünstig ausfallen. Bei Locomotiven ist gewöhnlich $\frac{e}{l} = {}^1/_5$, also $\varrho = {}^1/_{70}$.

b) Anwendung auf die Kolbenreibung. Diese entsteht durch den Druck p_1, mit welchem der Kolben gegen die Cylinderwand gepreßt wird und ist um so größer, je exacter der Kolben schließt **). Der Weg e, durch welchen diese Reibung überwunden werden muß, ist hier die ganze Hubhöhe l, aber deshalb ist der Werth ϱ unabhängig von der Hubhöhe. Denn, ist D der Durchmesser des Cylinders, h die Höhe des Kolbens und p_1 der Druck der Kolbeneinheit gegen die Cylinderwand, so ist $p = D \,.\, \pi \,.\, h \,.\, p_1$. h ist nahezu constant für kleinere und größere Maschinen, der Werth p_1 richtet sich nach der Constructionsart des Kolbens. e ist = l und $O = \left(\frac{1}{2} D\right)^2 \pi$, folglich

$$(8) \quad \varrho = \frac{D \,.\, \pi \,.\, h \,.\, p_1 \,.\, f \,.\, l}{\left(\frac{1}{2} D\right)^2 \,.\, \pi \,.\, l} = \frac{4 \,.\, p_1 \,.\, f \,.\, h}{D}.$$

Bei großen Maschinen ist dieser Werth kleiner, als bei Maschinen mit geringem Durchmesser, weil D dividirt ***).

c) Die übrigen Reibungswiderstände sind die Reibung der Kolbenstange und Steuerstange, des Excentric und der verschiedenen Zapfen. Sie sind sämmtlich nicht bedeutend. — Die Reibung der Kolbenstange und Steuerstange in den Stopfbüchsen ist bei kleinen Maschinen größer, als bei großen, weil die Höhe der Stopfbüchsen nahe constant ist. — Der Werth ϱ für Zapfenreibung ist bei allen Maschinen unter sonst gleichen Umständen von ungefähr gleich großem Einfluß, weil die Zapfen dem Durchmesser des Cylinders proportional gemacht

---

*) Resultate §. 104 u. 105. Reibungscoefficienten.

**) Hier sei beiläufig bemerkt, daß eine Oeffnung im Kolben, durch welche der treibende Dampf sogleich vor dem Kolben entweichen könnte, auf die Dampfspannung keinen Einfluß haben würde, wohl aber auf die Geschwindigkeit des Dampfkolbens. Die wirksame Dampfspannung bleibt dieselbe, wenn der Dampfkolben auch nicht dicht schließt, also kann man vom Manometerstand keinen Schluß auf den Kolben ziehen. Nur die geringere Geschwindigkeit des Kolbens wird von seinem Zustand Rechenschaft geben, weil der Nutzeffect geringer wird. Anmerk. d. Verf.

***) Siehe die §§. 15, 23 und 24.

werden *), also das Verhältniß ein constantes ist. Nur der Druck, welchen die Kurbel einerseits, das Schwungrad andererseits auf die Hauptwelle ausübt, ist bedeutend, ebenso die Reibung, also auch der Werth von ϱ, am Kurbelzapfen. Bei großen und langsam gehenden Maschinen wird das Schwungrad verhältnißmäßig sehr groß und schwer, während kleine und schnell laufende Maschinen ein sehr kleines Schwungrad haben. In dieser Hinsicht sind also die kleinen Maschinen im Vortheil. Von Belang ist noch der Werth ϱ für die Balancier-Axe (gewöhnlich nur bei Woolf'schen und Niederdruckmaschinen), weil diese Reibung auf einen ziemlich großen Weg zu überwinden ist. Dagegen ist bei schwachen Oscillationen des Balanciers der Reibungswinkel, also der Werth von e für die Endzapfen des Balanciers, für das Parallelogramm, die Steuerzapfen und die Zapfen der Pumpenstangen sehr gering, folglich der Widerstand überhaupt klein. Nur in sofern ist der kurze Reibungswinkel derselben unangenehm, als die Zapfen dadurch unrund werden und Stöße verursachen. Die Berechnung dieser Reibungen gehört nicht hierher **).

§. 43. 4) Widerstände der Luftpumpe, des Condensators und der Wasserpumpe. Der Hauptwiderstand liegt in der Luftpumpe und concentrirt sich in einzelnen Zeitmomenten, während der mittlere Widerstand derselben an sich nicht bedeutend ist. Denn die Reibung des Kolbens, das Gewicht des zu hebenden Wassers und der geringe Gegendruck des nicht condensirten Dampfes (von circa $^1/_{10}$ Atmosphäre) sind nicht von großem Einfluß. Dagegen hat der aufgehende Luftpumpenkolben die über ihm befindliche Luft zu comprimiren, und diese Spannung wächst, bis sie die von 1 Atmosphäre übersteigt, den äußeren Luftdruck überwindet und das obere, zur Wassercysterne führende Ventil heben kann. Nunmehr entweicht die comprimirte Luft stoßweise, aber der Druck einer Atmosphäre bleibt auf dem Kolben, während er das Wasser in die Cysterne schafft. Dieser Nachtheil des Atmosphärendruckes ist besonders groß, wenn der Kolbenhub diesen Druck lange zu überwinden hat, d. h. wenn eine große Wassermasse zu entfernen ist. In sofern wäre es also wünschenswerth, daß nur wenig Wasser in den Condensator eingespritzt würde. Die möglichste Verminderung des Dampfdruckes im Condensator verlangt aber das Gegentheil, folglich wird eine gewisse Wasserquantität die vortheilhafteste sein, weil dabei die Differenz der Einflüsse ein Minimum wird. Die Praxis giebt dieses Resultat von selbst, ohne Rechnung ***). Man probirt verschiedene Einspritzmengen, und diejenige wird die günstigste sein, bei welcher die Maschine am schnellsten arbeiten kann. Der Hauptwiderstand der Luft-

---

*) Resultate §. 264 ff.

**) Siehe d. Art. Reibung.

***) Eine Berechnung dieser Widerstände, wie sie Redtenbacher vorgenommen hat, ist darum nicht überflüssig und sehr verdienstlich. Denn diese Widerstände sind früher nicht direct ermittelt, sondern nur abgeschätzt, und einestheils die Ursache der Widerstände, anderntheils ihre relative Größe falsch ermittelt oder bedeutend überschätzt worden. Die Resultate, welche selbst Autoritäten wie Morin (siehe §. 23) und Tredgold fanden, sind so niedrig, daß nach denselben eine gewöhnliche Dampfmaschine nicht mehr als 30 bis 40 Proc. geben könnte, also nicht besser, als ein gewöhnliches Mühlenrad wäre. Dem widerspricht aber die Praxis, welche der Dampfmaschine den ersten Rang unter den Motoren einräumt. Der Widerspruch ward gelöst, sobald nachgewiesen werden konnte, daß Tredgold die Widerstände übertrieben hoch geschätzt hatte. Anmerk. d. Verf.

pumpe, der am Ende des aufwärts gehenden Kolbenschubes entsteht, wenn das obere Ventil aufgestoßen und der Luftdruck zu überwinden ist, concentrirt sich also auf einzelne Stöße, welche namentlich auf die Pumpengestänge und den Balancier sehr nachtheilig wirken. Im Moment des Eintrittes des Atmosphärendruckes beträgt ϱ ungefähr $^1/_9$ vom Querschnitt des Cylinders, also $\varrho = \frac{D^2 \pi}{9}$. Beim Niedergang des Kolbens ist ebenfalls die unter dem Kolben befindliche Luft zu comprimiren und über den Kolben zu drücken, das Wasser tritt von selbst über die Kolbenventile und der gesättigte Wasserdampf wird nicht comprimirt, sondern condensirt sich bei stärkerem Druck.

Der Condensator soll den Hinterdruck auf den Dampfkolben möglichst vernichten. Die Condensation muß schon begonnen haben, wenn der Dampfkolben eine Bewegung beginnt, damit von Anfang an der Gegendruck schon gering ist. Dies erreicht man durch das Voreilen des Schiebers. Ferner soll die möglichst vollkommene Condensation mit der möglichst geringsten Wasserquantität erreicht werden, um den Widerstand der Luftpumpe zu verringern. Man soll also wenigstens kein unnützes Wasser verschwenden, aber dies geschieht, wenn man die Injection fortwährend wirken läßt. Nur zu Anfang des Kolbenschubes, wo aller Dampf vernichtet werden soll, ist das Injectionswasser in großer Menge nöthig, gegen Ende des Schubes ist es wirkungslos. Es ist also vortheilhaft, selbstwirkende Vorrichtungen anzuwenden, welche den Injectionshahn nur zu den Momenten öffnen, wo frischer Dampf in den Condensator tritt. Das Injectionswasser muß aber dann in den Condensator gepreßt werden, weil ihm ein bedeutender Dampfdruck entgegen wirkt, welcher es am freien Eintritt hindert. Bei großen Dampfmaschinen soll man dazu eine selbstthätige kleine Injectionspumpe anwenden.

Die übrigen Pumpenkolben verursachen keinen bedeutenden Widerstand. Die Warmwasserpumpe hat den Dampfdruck im Kessel zu überwinden, der aber nur bei Hochdruckmaschinen von Bedeutung ist. Die Kaltwasserpumpe kann jedoch großen Widerstand verursachen, wenn sie viel Wasser und dieses aus großer Tiefe zu fördern hat. Schon deshalb ist überflüssiges Condensationswasser zu vermeiden. Wenn das Wasser aus bedeutender Tiefe zu heben ist, so kann der Kraftaufwand dieser und der übrigen Pumpen zusammen so bedeutend werden, daß der Vortheil der Condensation dadurch aufgehoben wird. Darum soll man immer suchen das kalte Wasser durch freien Zufluß zu erhalten, und wenn keine Quellen vorhanden sind, Wassercysternen anlegen, in welchen das Condensationswasser gesammelt wird, um es immer wieder von Neuem benutzen zu können *).

§. 44. B) Dampfverluste. Darunter sind alle die Dampfmengen begriffen, welche mit Brennstoffaufwand producirt werden, ohne eine nützliche Wirkung hervorzubringen. Dahin gehören 1) alle Dampfmengen, welche durch die Dichtungen, durch Röhrendichtungen, Flanchets, Cylinderdeckel, Stopfbüchsen und mangelhaft schließende Ventile entweichen, ohne auf den Kolben zu wirken. Diese Verluste sind aber bei dem jetzigen Vollkommenheitsgrad der Ausführung der Maschinen sehr gering.

---

*) Wie auf der Höhe der schiefen Ebene bei Lüttich.

2) Dampfverluste am Kolben, durch mangelhafte Kolbenliderung. Ein mathematisch genauer Cylinder und Kolben ist unmöglich, deshalb verursacht jeder Kolben einigen Dampfverlust, indem er einen Spielraum hat, der aus einzelnen Canälen besteht und dessen Summe man bei Metallkolben auf 0,01, bei Hanfkolben auf 0,08 Quadratzoll schätzt. Der Verlust richtet sich nach der Größe des Spielraumes w, ist dem Umfang $D \cdot \pi$ des Kolbens, der Geschwindigkeit u des ausströmenden Dampfes (welche sich nach der Differenz der Pressungen im Cylinder richtet) und der Dichte $(\alpha + \beta p)$ desselben *) bei dem Druck p, proportional. Also ist der Dampfverlust per Secunde in Kilogrammen

$$(9) \quad \mathfrak{V} = D\,\pi\,.\,w\,.\,u\,.\,(\alpha + \beta\,p).$$

Hierbei kommt es aber wiederum nicht auf die absolute Größe dieses Verlustes, sondern auf das Verhältniß zwischen dem nutzbaren und entweichenden Dampfe an. Man hat also diesen Dampfverlust zu dividiren durch die Dampfmenge, welche auf den Kolben drückt und dem Volumen proportional ist, das der Kolben durchläuft **). Ist die Kolbengeschwindigkeit v, der Cylinderdurchmesser D und die Dichte des wirksamen Dampfes bei dem Drucke $p = (\alpha + \beta p)$, so ist die wirksame Dampfmenge $\frac{D^2 \pi}{4} \,.\, v \,.\, (\alpha + \beta\, p)$, folglich der procentische Verlust durch Entweichen

$$(10) \quad s = \frac{D\,.\,\pi\,.\,w\,.\,u\,(\alpha + \beta\,p)}{\frac{D^2\,\pi}{4}\,.\,v\,.\,(\alpha + \beta\,p)},$$ oder, den Werth

auf eine Constante $\mathfrak{A}$ reducirt, ist $s = \frac{\mathfrak{A}}{D\,.\,v\,.}$. Man sieht daraus, daß dieser Verlust dem Durchmesser des Cylinders und der Kolbengeschwindigkeit verkehrt proportional ist. Was für die Kolbendichtung gilt, hat auch Geltung für jede andere Dampfdichtung. Dies bestätigt den schon aus den verschiedensten Betrachtungen gefolgerten Satz ***), daß die Verluste an Reibung, Dampf ꝛc. bei großen Maschinen geringer sind, als bei kleinen, daß also letztere einen schlechteren Nutzeffect als erstere geben. Watt nahm an, daß Maschinen von 100 Pferdekräften den besten Effect geben, weil größere Maschinen damals nicht vorkamen. Jetzt kann man dasselbe für 1000pferdige Maschinen aussprechen ****). Auch der Einfluß von v ist noch zu berücksichtigen. Eine langsam gehende Maschine hat mehr Dampfverlust als eine schnellgehende. In dieser Hinsicht sind also die kleinen Maschinen besser, doch ist dieser Verlust bei gut gebauten Maschinen weniger zu berücksichtigen, als bei Maschinen von ordinärem Bau. Schlecht construirte Maschinen geben also einen besseren Nutzeffect, wenn man sie schnell laufen läßt *****).

---

*) Siehe §. 19.

**) Siehe §. 15, S. 277.

***) Siehe §§. 15, 23, 24 u. 42.

****) Die Dampfmaschine des Schiffes „Great-Brittain" hatte 1000 Pferdekraft.

*****) Dasselbe Verhältniß findet sich bei den Wasserrädern wieder. Die Amerikaner wissen das sehr genau und lassen ihre Dampfmaschinen nicht ohne Grund so schnell laufen!

Anmerk. d. Verf.

3) Verlust durch den schädlichen Raum. Der schädliche Raum wird durch das Volumen der Dampfcanäle und den Raum gebildet, welcher sich zwischen Kolben- und Cylinderdeckel befindet, wenn der Kolben schon am Ende seines Schubes ist. Der in demselben befindliche Dampf füllt diese Räume nur aus, kommt aber nicht zur Wirkung. Den schädlichen Raum klein zu machen, hat seine Schwierigkeiten, weil er von 3 Dimensionen abhängt. Zunächst vom Querschnitt der Dampfcanäle, der wegen der Reaction des ausströmenden Dampfes, besonders bei schnellgehendem Kolben nicht eng sein darf *). Sodann von der Länge der Canäle, die man innerhalb gewisser Grenzen in seiner Macht hat, aber auf Kosten der Einfachheit, weil man sodann entweder 2 Schieber oder wie bei den Cornwallmaschinen Ventile anwenden muß **). Endlich gilt noch die Regel, daß die Kolbenfläche und der Cylinderdeckel äquidistante Flächen haben und möglichst genähert werden sollen, damit bei gleicher Annäherung der Raum möglichst gering wird. Man hat also alle hervorstehenden Schrauben, Keile ꝛc. am Kolben zu vermeiden.

§. 45. C) Wärme-Verluste. Da die Wärme der directe Motor der Dampfmaschine ist, so ist jeder Wärmeverlust ein directer Kraftverlust. Man muß also zunächst schon den Dampfkessel vor jeder Wärmestrahlung schützen, ihn mit schlechten Wärmeleitern bedecken und vollkommen einschließen ***). Der Dampf kühlt sich aber auch in den Dampfleitungen und im Cylinder ab, condensirt theilweise und verliert dadurch an Spannung ****). Man muß also die Röhren möglichst vor Abkühlung schützen, indem man sie entweder mit schlechten Wärmeleitern (Filz, Stroh ꝛc.) umwickelt, oder, wie bei den Locomotiven in einen erhitzten Raum legt. Ebenso schützt man den Cylinder vor Abkühlung, indem man ihn bei Locomotiven in den Heizraum legt, oder bei stehenden Maschinen mit Hanf, Stroh oder Filz umwickelt und mit einer Holz- oder Blechkleidung umgiebt. Zuweilen macht man den Cylinder doppelt und bringt eine Dampfheizung an, wie bei den Woolf'schen Maschinen. Es ist aber schon früher bemerkt †), daß diese Einrichtung auf einer Illusion beruht, sobald man außerdem keine passenden Vorkehrungen trifft. Man verliert dann mehr Wärme, als man gewinnt, weil die Oberfläche des Cylindermantels größer ist, als die des inneren Cylinders, also die abkühlende Fläche nur vermehrt wird. Den abgehenden Dampf dazu zu verwenden ist dem Grundsatz, den Hinterdruck möglichst zu vermindern ††), entgegen, also nicht zu empfehlen. Schützt man allerdings den äußeren Cylindermantel durch Einwickelung und einen dritten Holzmantel vor Abkühlung, so wird durch eine, den Dampfcylinder umgebende Dampfheizung der Zweck vollkommen erreicht, daß im Innern kein Wärmeverlust entsteht. Dies ist die Einrichtung der Cornwallmaschinen, so daß diese Maschinen auch in dieser Hinsicht den ersten Rang einnehmen.

Ein fernerer Wärmeverlust entsteht durch den Wasserübertritt aus

*) Siehe §. 41.
**) Siehe §§. 35 u. 36.
***) Siehe §§. 27 u. 30.
****) Siehe §§. 15 u. 29.
†) Siehe §. 16.
††) Siehe §. 41.

dem Kessel in den Cylinder. Es besteht nur eine periodische Communication zwischen Kessel und Cylinder, dies hat zur Folge, daß der Dampf im Kessel pulsirt, einen Wasserberg nach dem Dampfrohr zu bildet und Wasser mit sich fortreißt, das bis in den Cylinder dringen kann. Dieses Wasser besitzt einen bedeutenden Wärmegrad, der verloren geht, da dieses Wasser unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht mehr verdampft werden kann, sondern durch seine Abkühlung im Gegentheil noch Dampf condensirt. Wie groß der Wärmeverlust unter ungünstigen Verhältnissen werden kann, läßt sich erkennen, wenn wir z. B. annehmen, daß das Wasser im Kessel 200° Temperatur habe und daß mit 1 Klgr. Dampf auch 1 Klgr. Wasser fortgerissen werde. Um 1 Klgr. Wasser auf diesen Grad zu erwärmen, sind 200 Wärmeeinheiten erforderlich, um 1 Klgr. Dampf zu produciren, bedarf es 650—100 Wärmeeinheiten *). Es werden also 750 Wärmeeinheiten in den Cylinder übergeführt, wovon nur 550 wirksam sein können, die Leistung der Wärme wird folglich im Verhältniß 550 zu 750 vermindert, d. h. es gehen 26 Proc. Wärme verloren. Um diesen Verlust zu verhüten, giebt es verschiedene Mittel. Das einfachste ist, die Mündung des Dampfrohres möglichst hoch und vom Wasser abgewendet in einen Dom zu legen, wie wir bei den Locomotiven **) finden werden.

Wegen des Wasserübertrittes und der sonstigen Dampf- und Wärmeverluste, hat man bei der Angabe der verdampften Wassermenge wohl zu unterscheiden zwischen der wirksamen Verdampfung, welche im Cylinder eine nützliche Wirkung ausübt und der Bruttoverdampfung, welche im Kessel wirklich stattfindet. Nach Pambour beträgt der Verlust 0,05 der beobachteten Verdampfung ***), so daß die mittlere wirksame Verdampfung nur 0,95 der Bruttoverdampfung beträgt. Nur die Cornwallmaschinen machen auch hiervon wieder eine Ausnahme. In diesen Maschinen geschieht der Dampfeintritt sehr schnell und stoßweise, und in Folge der Kesselanlage wird daher eine beträchtliche Menge Wasser in den Cylinder übergerissen. Da aber der Cylinder nicht nur vor Abkühlung geschützt, sondern sogar noch durch Dampf geheizt ist, so wird das übergerissene Wasser im Cylinder entweder ganz in Dampf verwandelt, oder es kann sogar die Spannkraft des reinen expandirten Dampfes durch Erhöhung seiner Temperatur noch vermehrt ****) werden. Der erstere Fall ist der gewöhnliche. Wenn man den Indicator †) beobachtet, das bei jedem Kolbenzug im Kessel verdampfte Wasser in Rechnung bringt, hierauf das Volumen notirt, welches der daraus gebildete Dampf im Augenblick des Ventilschlusses im Cylinder einnimmt, so findet man ††) allerdings, daß dieses Dampfvolumen anfangs kleiner ist, als die Bruttoverdampfung bei der angegebenen Temperatur. Je mehr aber der Kolben, also auch die Expansion fortschreitet, desto mehr nähert sich das Volumen, das der wirksamen Verdampfung entspricht, dem der Bruttoverdampfung, woraus

---

*) Siehe §. 20, S. 298.

**) Siehe §§. 29 und 30 und den Art. Locomotive.

***) Poncelet, mécanique appliquée. II. Vol. 10. Sect. §. 282.

****) Vergleiche §. 20. S. 302. und Anmerkung.

†) Siehe d. Art. Dynamometer.

††) Pambour, Theorie der einfach wirkenden Cornwallmaschine und Poncelet, méc. appl. Vol. II. Sect. 18. §. 308.

folgt, daß im Cylinder das, mit dem Dampfe fortgerissene Wasser während der Dauer des Kolbenlaufes in Dampf verwandelt und folglich im Cylinder nutzbar gemacht wird *).

VII.

Analytische Theorie der Dampfmaschinen.

§. 46. Die Gesetze der dynamischen Wirkung der Dampfmaschine, welche in den vorhergehenden 2 Capiteln durch Worte ausgedrückt wurden, müssen jetzt noch analytisch behandelt und durch Formeln ausgedrückt werden. Nach den verschiedenen Systemen der Maschinen wird auch die analytische Ausdrucksweise sich ändern, doch im Wesentlichen nichts Neues dazu kommen. Die Formeln dienen zugleich zur Beantwortung der verschiedenen Fragen, welche über die Bewegung und den Bau der Dampfmaschinen gestellt werden können. Wir bedienen uns hierbei durchgängig der Bezeichnungen, welche Redtenbacher **) in seiner Theorie, der wir ausschließlich folgen, angewendet hat. Es ist für alle Maschinen gemeinschaftlich:

S die Dampfmenge in Klgr., welche per Secunde auf die Maschine wirkt; N der Nutzeffect der Maschine in Pferdekräften; O der Querschnitt des Dampfcylinders in Quadratmetern; D Durchmesser des Dampfcylinders; l Länge des Kolbenschubes; v mittlere Geschwindigkeit des Kolbens — sämmtlich in Metermaß — p der Druck des Dampfes im Cylinder auf 1 Quadratmeter in Klgr. hinter dem Kolben, so lange der Cylinder mit dem Kessel communicirt; r der totale auf 1 Quadratmeter der Kolbenfläche reducirte schädliche Widerstand vor dem Kolben; s der Dampfverlust in Klgr. per Secunde, zwischen Kolben und Cylinder; m der Coefficient für den schädlichen Raum; $(\alpha + \beta\, p)$ das Gewicht eines Cubikm. Dampf vom Drucke p per Quadratm. ***). Dabei ist hier

für Niederdruckmaschinen $\alpha = 0{,}0610 \quad \beta = 0{,}000051 \quad \frac{\alpha}{\beta} = 1196$

für Hochdruckmaschinen $\alpha = 0{,}1427 \quad \beta = 0{,}00004729 \quad \frac{\alpha}{\beta} = 3018.$

Für die Expansionsmaschinen und die Maschinen mit 2 Cylindern treten noch Bezeichnungen hinzu, welche wir bei Betrachtung derselben anführen werden.

Unter r, s und m sind aber insgesammt die Widerstände und Dampfverluste, welche wir im vorigen Capitel aufzählten, zusammengefaßt und wir haben diese Größen zunächst näher zu bestimmen.

A. Bestimmung der Widerstände und Verluste. Diese kann auf dreierlei Art erfolgen, durch Abschätzung, durch Versuche oder durch

*) Siehe Wickfteed, an experimental inquiry of the Cornish-engines.
**) Resultate §. 253.
***) Siehe §. 19 und Tab. I.

Rechnung. Jeder dieser Wege ist mit mehr oder weniger Erfolg eingeschlagen worden. Für die praktische Beurtheilung genügt eine Aufzählung und Abschätzung der Widerstände. Um aber einen sicheren Anhalt zu haben, ist nöthig, zuvor ein Prüfungsmittel an Versuchen oder durchgeführten Rechnungen zu finden. Hat man einzelne Fälle genau ermittelt, so kann man leicht auf die übrigen schließen und mittlere Resultate ausziehen.

Wäre eine vollständige und genaue Versuchsreihe über die Widerstände bei allen Dampfmaschinen vorhanden, so wäre eine Berechnung derselben überflüssig. Aber in dieser Hinsicht bleibt Vieles zu wünschen übrig. Watt hat in der ersten Zeit mit seinen Niederdruckmaschinen Versuche angestellt, welche noch jetzt benutzt werden. Seitdem sind nur die Cornwallmaschinen (unter Andern durch Wickstead)*) vollständig untersucht worden, bis Pambour**) an den Locomotiven entscheidende Versuchsreihen anstellte, die seitdem weiter ausgebildet wurden. Die Art, wie solche Versuche anzustellen sind, ist einfach folgende.

Der Widerstand, den die Dampfmaschine zu überwinden hat, besteht aus 2 Theilen, aus dem nützlichen Widerstand, der von der eigentlichen Last herrührt, und aus dem totalen schädlichen Widerstande r, welcher der Bewegung des Kolbens entgegen wirkt. Dieser auf 1 Quadratmeter der Kolbenfläche reducirte Druck r ist nahezu derjenige, welcher hinter dem Kolben wirken muß, um eine Maschine zu bewegen, wenn dieselbe keinen nützlichen Widerstand zu überwinden hat. Da es nun für jede Spannung des Dampfes im Kessel eine größte Last giebt, so kann man jede Last zu einer größten machen, wenn man die Kesselspannung hinlänglich vermindert. Läßt man also mit Hülfe des Sicherheits- oder Auslaßventiles die Dampfspannung im Kessel so weit herabsinken, daß sie eben im Stande ist, die leere Maschine in Bewegung zu erhalten, so bildet der passive Widerstand r die größte Last und man kann den Werth desselben aus der eingetretenen Dampfspannung bestimmen. Um die Zunahme der Widerstände mit der Zunahme der Einheit der Last zu bestimmen, vergrößerte Pambour die Last der Maschine so weit, daß bei dem normalen (oder gewöhnlichen) Dampfdruck eben noch Bewegung stattfand. Oder man vermindert die Spannung des Dampfes im Kessel so weit, bis sie mit der normalen Last der Maschine ins Gleichgewicht kommt. Aus der Vergleichung der daraus abzuleitenden Resultate mit den früher gefundenen ergiebt sich die Zunahme der Widerstände. In jedem Falle bedarf es hierzu einer Rechnung, welche nach rationellen Regeln ausgeführt sein muß. Auch dies versuchte Pambour, auf Grund seiner Versuche, verfiel aber dabei in einen doppelten Irrthum. Er stellte constante Coefficienten von der allgemeinen Form

$$R = a + b \,.\, P$$

auf, wobei R den Gesammtwiderstand bezeichnete, den er wesentlich nur von der Veränderung des Dampfdruckes P abhängig machte. Er nahm an, daß die Gesammtreibung f der unbelasteten Maschine direct mit dem nützlichen Widerstande r der Maschine (nach welchem der Dampfdruck P sich richtet) um eine Größe δ zunehme, welche auf die Einheit der Last bezogen ist. Die Gesammtreibung f (inclusive

---

*) Th. Wickstead, On the Cornish Engines, im Auszug in Morin, Leçons de mécanique pratique. Vol. III.

**) Traité des machines locomotives, in der deutschen Uebersetzung von Schnuse Cap. 4 bis 9.

der Luftpumpe ꝛc.) bezieht er auf den Durchmesser d des Dampfcylinders und stellte $f = \frac{300}{d}$ und $\delta = 0{,}14$ fest. Beide Annahmen sind unrichtig, denn wir wissen aus den Betrachtungen im vorigen Capitel, daß P allerdings von Einfluß ist, jedoch die Zunahme der Widerstände noch von vielen andern Verhältnissen abhängt. Ferner ist die Feststellung constanter Coefficienten unstatthaft. Daß Pambour sich auf Grund einer oberflächlichen Betrachtung dazu verleiten ließ, ist um so auffallender, als er wiederholt mit Recht auf die Fehler der Poncelet-Morin'schen Theorie hinweist *), welche, unbekümmert um die Geschwindigkeits- und Druckveränderungen, die Nutzlast in allen Fällen vermittelst eines constanten Correctionscoefficienten, aus dem Drucke des Kesseldampfes ableitet **). Dennoch gebührt Pambour das Verdienst, die ersten haltbaren Grundgedanken ausgesprochen zu haben, wenn gleich ihre Ausführung nur flüchtig ist.

Es ist schon wiederholt ausgesprochen ***), daß Redtenbacher das Verdienst gebührt, diesen Mangel der Pambour'schen Theorie beseitigt zu haben, indem er auf Grund seiner Betrachtungen (in Capitel VI.) die Widerstände vollständig berechnete. Die Bestimmung der Widerstände vor Pambour's Auftreten, die Angabe ihrer Größe und Quellen durch Tredgold ****), Prechtl *****) u. A. ist durchaus unstatthaft. Trotz der Versuche und langjährigen Praxis gab Tredgold die Widerstände fehlerhaft an und überschätzte sie bedeutend. In neuerer Zeit hat Weißbach die Widerstände und Verluste durch Formeln ausgedrückt †), indem er sich dabei theilweise noch an Tredgold, Pambour und Péclet anschließt.

Durch Redtenbacher's analytische Untersuchungen ist die theoretische Bestimmung der Widerstände als erledigt zu betrachten. Es handelt sich dabei um die Berechnung sämmtlicher Werthe von ϱ (im vorigen Capitel), deren Summe den Gesammtwerth von r geben (siehe oben). Redtenbacher hat die Ergebnisse seiner Rechnungen vereinfacht und reducirt im 9. Abschnitt seiner „Resultate" zusammengestellt ††). Es ist

1) Für Watt'sche Niederdruckmaschinen — mit einer Dampfspannung im Cylinder von p = 8330 Klgr. per Quadratmeter oder 0,8 Atmosphären — (Resultate §. 255):

---

*) Siehe u. A. Poncelet, Mécanique appliquée, übersetzt von Schnuse. Bd. II. §. 292.

**) Vergleiche damit Cap. II. §§. 21, 23 und 24 unseres Artikels.

***) Vergl. §. 21.

****) Tredgold, On the steam engine.

*****) Prechtl, Techn. Encykl. Bd. III. S. 594 bis 605, S. 609, 617 ff.

†) Mechanik, Bd. II. §. 360 bis 365 und §. 370 bis 374.

††) Die vollständige Berechnung der Widerstände würden wir hier nicht wiedergeben können, selbst wenn deren Veröffentlichung bereits erfolgt wäre, weil sie, mit Berücksichtigung aller Einflüsse, zu großen Complicationen und Weitläufigkeiten führen. Jeder einzelne Widerstand ist eine ungeheure Formel, welche direct nicht anwendbar und praktisch ohne Nutzen ist. Anmerk. d. Verf.

Der totale schädliche Widerstand

$$(11) \quad r = 1758 + 30 \cdot \frac{0}{\Omega} \cdot v + 45\, h + 269\, D + \frac{367}{D}.$$

Dabei bedeutet Ω den Querschnitt der Dampfcanäle, h die Tiefe, aus welcher die Kaltwasserpumpe das Condensationswasser zu heben hat. Die übrigen Bezeichnungen sind schon angegeben.

Das erste Glied 1758 ist die Summe aller constanten Werthe, also auch der Zapfenreibungen. Es ist dem normalen Gegendruck im Condensator bei 40° Temperatur proportional. Das 2. Glied $30 \cdot \frac{0}{\Omega} \cdot v$ bezeichnet den Widerstand auf den Kolben, den der Dampf durch sein Entweichen aus dem Cylinder verursacht. Er ist dem Verhältnisse der Querschnitte und der Kolbengeschwindigkeit proportional. Das 3. Glied $45\, h$ bezieht sich auf die Kaltwasserpumpe. Das 4. Glied $269\, D$ bezeichnet die Reibungen, welche dem Durchmesser des Cylinders proportional sind, besonders die Reibung der Schwungradwelle. Das 5. Glied $\frac{367}{D}$ rührt von der Kolbenreibung her.

Ferner ist der Dampfverlust zwischen Kolben und Cylinder

$$(12) \quad s = 0{,}064\, D\, (\alpha + \beta\, p)$$

in Klgr. per Secunde (siehe §. 44). Endlich wird der schädliche Raum für alle Maschinen gleich groß angenommen. Er ist dem Volumen des Kolbenschubes proportional, oder $\mathfrak{B} = 0 \cdot l \cdot m$. Dabei ist m ein Coefficient, den Pambour zu

$$(13) \quad m = \frac{\mathfrak{B}}{0 \cdot l} = 0{,}05$$

bestimmte. Also ist der schädliche Raum constant $^1/_{20}$ von dem Volumen eines Kolbenschubes.

2) Für Hochdruck ohne Expansion. (Resultate §. 256.)

Tabelle XI a.

p Dampfspannung im Cylinder.	Totaler auf 1 Quadratmeter reducirte schädliche Widerstand r	Dampfverlust s in Kilogrammen per Secunde
20000 Klgr. per Quadratm.	$10652 + 12\,\frac{0}{\Omega} \cdot v + 531 \cdot D + \frac{414}{D}$	$0{,}076 \cdot D$
30000	$11044 + 38\,\frac{0}{\Omega} \cdot v + 635 \cdot D + \frac{621}{D}$	$0{,}107 \cdot D$
40000	$11469 + 71\,\frac{0}{\Omega} \cdot v + 1090\, D + \frac{828}{D}$	$0{,}138 \cdot D$
50000	$12450 + 114\,\frac{0}{\Omega} \cdot v + 1610\, D + \frac{1005}{D}$	$0{,}157 \cdot D$

Die Bedeutung der Werthe der einzelnen Glieder für r bleibt dieselbe. Der Werth des constanten 1. Gliedes vermehrt sich bedeutend wegen des Gegendruckes auf den Kolben; das 3. Glied 45 . h fällt weg, weil keine Condensation stattfindet. Man sieht, daß der Widerstand r sich zwar nach dem Drucke p richtet, aber keineswegs in einfachem, proportionalem Verhältnisse mit demselben zunimmt.

3) Für Hochdruck mit Expansion. (Resultate §. 257.)

Tabelle XI[b].

p.	r.	s.
20000	$10652 + 16{,}66 \cdot \frac{0}{\Omega} \cdot v \left(2{,}1 \frac{l_1}{l} - 1\right)^{1{,}64} + 531\ D + \frac{414}{D}$	0,076 . D
30000	$11044 + 16{,}66 \cdot \frac{0}{\Omega} \cdot v \left(3 \cdot \frac{l_1}{l} - 1\right)^{1{,}64} + 635\ D + \frac{621}{D}$	0,107 . D
40000	$11469 + 16{,}66 \cdot \frac{0}{\Omega} \cdot v \left(3{,}6 \frac{l_1}{l} - 1\right)^{1{,}64} + 1090\ D + \frac{828}{D}$	0,138 . D
50000	$12450 + 16{,}66 \cdot \frac{0}{\Omega} \cdot v \left(4{,}2 \frac{l_1}{l} - 1\right)^{1{,}64} + 1610\ D + \frac{1005}{D}$	0,157 . D

Die Formel für r ist nur im 2. Gliede von der vorigen verschieden und mit einem Zusatz versehen, welcher den Einfluß der Expansion in Rechnung zieht. Da die Spannung des expandirten Dampfes nach dem Grad der Expansion verschieden ist, so ist auch der Widerstand dieses Dampfes auf den Kolben, beim Ausblasen, verschieden. Deshalb tritt das Verhältniß $\frac{l_1}{l}$ der Größe der Expansion als Factor auf, wobei l_1 den Weg bezeichnet, den der Kolben zurücklegt, bevor die Absperrung eintritt.

4) Für Mitteldruck mit 1 Cylinder mit Expansion und Condensation. (Resultate §. 258.)

Tabelle XI[c].

p.	r.	s.
15000	$1800 + 16{,}66 \cdot \frac{0}{\Omega} \cdot v \left(3 \cdot \frac{l_1}{l} - 1\right)^{1{,}64} + 45\ h + 269\ D + \frac{367}{D}$	0,057 . D
20000	$2000 + 16{,}66 \cdot \frac{0}{\Omega} \cdot v \left(8 \cdot \frac{l_1}{l} - 1\right)^{1{,}64} + 90\ h + 579\ D + \frac{555}{D}$	0,076 . D
30000	$2540 + 16{,}66 \cdot \frac{0}{\Omega} \cdot v \left(11 \cdot \frac{l_1}{l} - 1\right)^{1{,}64} + 135\ h + 1058\ D + \frac{744}{D}$	0,107 . D
40000	$3190 + 16{,}66 \cdot \frac{0}{\Omega} \cdot v \left(14 \cdot \frac{l_1}{l} - 1\right)^{1{,}64} + 180\ h + 1607\ D + \frac{1028}{D}$	0,137 . D

Die Formel für r ist den vorhergehenden analog, nur vermindert sich wieder der Werth des 1. constanten Gliedes und es tritt das 3. Glied wegen der Conden-

sation wieder hinzu. Die Dampfverluste s sind mit oder ohne Expansion und Condensation ziemlich dieselben. Der Werth von $m = 0{,}05$ bleibt sich allenthalben gleich.

Was in den vorigen Capiteln vom Vorderdruck gesagt wurde, bezieht sich immer auf den Werth von r. Es kommt also darauf an, daß der wirksame Ueberdruck p ein Vielfaches von r sei. Nehmen wir z. B. eine Watt'sche Niederdruckmaschine mit 0,8 Atmosphären Spannung und von 50 Pferdekraft an, bei welcher $D = 1^m$, $v = 1^m$, $h = 1^m$ und $\frac{0}{\Omega} = 30$ sein möge, so finden wir $r = 3520$ Klgr. per Quadratmeter oder 0,35 Atmosphären. Dies stimmt mit Watt's Resultaten ziemlich überein, der durch Versuche, wie die oben angeführten, die Summe der schädlichen Widerstände einer solchen Maschine = 0,4 Atmosphären fand *). Bei 0,8 Atmosphären ist also der wirksame Druck noch immer $\frac{0{,}8}{0{,}35}$, d. h. dem 2,3 fachen der Widerstände gleich.

Wollte man dagegen eine Hochdruckmaschine mit Expansion bei gleichen Dimensionen nur mit 2 Atmosphären arbeiten lassen, so würde $r = 1{,}6$ Atmosphären, es wären also nur 0,4 Atmosphären wirksam. Für $p = 5$ Atmosphären wächst r auf 1,85 Atmosphären und der wirksame Druck wird erst das 3fache des schädlichen Druckes.

§. 47. B) Theorie der Hochdruck- und Niederdruckmaschine ohne Expansion.

Für beide Maschinen ist unsere Betrachtung gleich, da nur die Widerstände r und Verluste s bei denselben verschieden sind, die im Vorhergehenden bereits angegeben wurden. Die theoretische Betrachtung an sich ist natürlich von der absoluten Größe des nützlichen Hinterdruckes p und schädlichen Gegendruckes r unabhängig. Dabei ist jedoch zu bemerken, daß der Dampfdruck p streng genommen nicht constant ist, besonders dann nicht, wenn die Geschwindigkeit v des Kolbens bedeutend ist. Bei langsamen Gang kann man ihn als constant annehmen, doch ist er fast immer von dem im Kessel verschieden. Pambour spricht sich dahin aus **), daß man den Dampfdruck im Cylinder in gewissem Falle a priori kenne, wo derselbe wirklich dem Drucke im Kessel gleich sei. Dies sei dann der Fall, wenn die Maschine ihre größte Kraft für den Dampfdruck ausübt, bei welchem sie arbeitet, d. h. wenn sie die größte Last bewegt, welche sie bei diesem Dampfdruck bewegen kann. Bei Bewegung der größten Last entwickele die Dampfmaschine ein Maximum des Nutzeffectes und dieses Maximum würde erreicht, wenn die Maschine, bei gegebener Verdampfung, mit der kleinsten Geschwindigkeit arbeitet ***). Der größte Nutzeffect würde also eintreten, wenn die Dampfspannung im Kessel

*) Es ist bekannt, daß der Nominalwerth in Pferdekräften bei den Watt'schen Maschinen immer geringer war, als ihre wirkliche Leistung. Watt baute mit Vorbedacht seine Maschinen stets für ein Maximum, brachte aber dadurch große Verwirrung in die Beurtheilung des Nutzeffectes. Es entstanden verschiedene Maße für die Pferdekräfte und man erfand für Watt'sche Maschinen eine besondere Art von Dampfpferdekräften, um den Nominalwerth mit dem effectiven Nutzeffect auszugleichen.

**) Theorie der Locomotive. Capitel VIII. 2 Abschnitt. §. 1.

***) Poncelet, mécan. appliquée. T. II. Sect. 10. §. 284 und 285.

und Cylinder gleich groß ist *). — Endlich ist hervorzuheben, daß v keine constante Größe, sondern bei jedem Kolbenschub sehr variabel ist **). Für v muß also eine ideale constante Größe angenommen werden. Als *wahre mittlere* Geschwindigkeit hat sie aber einen ganz bestimmten, reellen Werth ***).

Wir können nun unmittelbar zur Betrachtung des Vorganges im Cylinder schreiten. Der Kolbenquerschnitt ist O, hinter dem Kolben ist der Dampfdruck p, vor dem Kolben der *totale schädliche* Widerstand r wirksam. Folglich ist $O\,(p - r)$ die Kraft, mit welcher der Kolben vorwärts geht, sobald der Dampfdruck den Widerstand überwältigt hat. Bei einem Schub legt der Kolben den Weg l zurück, mithin ist die Wirkungsgröße der Maschine bei einem einfachen Schub $= O\,(p - r)\,.\,l$. Nun giebt die Länge des Schubes, dividirt durch die *mittlere* Geschwindigkeit des Kolbens, die Zeit eines Kolbenschubes an, folglich ist $\frac{l}{v}$ die genaue *mittlere* Zeit eines Schubes. Die Wirkungsgröße der Maschine dividirt durch die Zeit, oder $\frac{O\,(p - r)\,l}{\frac{l}{v}}$, giebt den Nutzeffect derselben. Also ist

$$(1) \quad 75\,N = O\,(p - r)\,v$$

in Sekunden, Metern und Kilogrammen ausgedrückt, die *Bedingungsgleichung für das Gleichgewicht zwischen Kraft und Widerstand in der Dampfmaschine* ****).

Bei jedem Kolbenschub wird ein Cylindervolumen $O\,.\,l$ und der schädliche Raum $m\,.\,O\,.\,l$ mit Dampf angefüllt und ebenso viel entfernt. Also drückt $(O\,.\,l + m\,.\,O\,.\,l)$ die Dampfconsumtion im Cylindervolumen aus. Von diesem Dampf, dessen Spannung im Cylinder p ist, wiegt 1 Cubikm. $= (\alpha + \beta\,p)$ Klgr. Mithin ist das Product aus Gewicht und Volumen, dividirt durch die Zeit eines Schubes, oder $\frac{(O\,.\,l + m\,.\,O\,.\,l)\,(\alpha + \beta\,p)}{\frac{l}{v}}$ die consumirte Dampfmenge oder die wirksame Verdampfung per Secunde. Diese muß der producirten Dampf-

*) Je kleiner die Geschwindigkeit v, desto mehr wird allerdings die Cylinderspannung der Kesselspannung und die Maschine dem Maximum ihres Effectes sich nähern. Doch hängt Letzteres nicht direct mit der Verminderung der Geschwindigkeit des Kolbens, sondern nur mit der Vermehrung des nützlichen Hinterdruckes zusammen, welcher dadurch befördert wird. (Vergl. den folgenden §. 48 dieses Capitels.) Anm. d. Verf.

**) Vergl. §. 37 u. 41.

***) Siehe *Weißbach*, Mechanik. Bd. II. §. 362 und 363 über die Bewegung des Kolbens und der Kurbel.

****) Diese Gleichung stimmt im Ganzen mit der Gleichung (4) Cap. II. §. 21 der *Poncelet*'schen Theorie überein. Der wesentliche Unterschied ist aber, daß dort unter q nur der Gegendruck der Atmosphäre oder des Condensators auf den Kolben verstanden ist, während hier r den *auf den Kolben reducirten totalen schädlichen Widerstand* bedeutet. Dieser Mangel führte die frühere Theorie zu dem Fehler der Annahme von *Erfahrungscoefficienten*. Anmerk. d. Verf.

menge im Kessel oder der Bruttoverdampfung gleich sein, wenn wir die Dampfverluste s hinzufügen. Folglich ist

$$(2) \quad S = O \,.\, v\,(1 + m)\,(\alpha + \beta\, p) + s$$

die zweite Bedingungsgleichung für das Gleichgewicht zwischen Dampfproduction und Consumtion *). In diesen beiden Hauptgleichungen sind alle Hauptfragen enthalten, welche man vom analytischen Standpunkt aus stellen kann. Es bestehen 2 Beziehungen zwischen den 6 Größen N, S, O, p, r, v, von denen immer 2 bestimmt werden können, wenn 4 gegeben sind. Ueberhaupt könnten 15 Fragen oder 30 Formeln aufgestellt werden. Darunter sind aber viele ohne besonderes Interesse und wir beschränken uns hier auf die Fragen, welche wegen ihrer Folgerungen von allgemeinem Interesse sind.

§. 48. 1) Untersuchung der Leistung einer bereits existirenden Maschine unter gegebenen Umständen. Wenn eine Dampfmaschine bereits construirt und folglich in Hinsicht des Systemes und der Dimensionen vollständig bestimmt ist, so kann der Effect, den sie hervorbringt, doch noch verschieden sein, weil Geschwindigkeit oder Verdampfung, Last oder Dampfspannung sich völlig unabhängig von einander ändern können. Hieraus geht hervor, daß man bei der Arbeit einer Dampfmaschine verschiedene Fälle unterscheiden muß, für welche man aus den Gleichungen (1) und (2) die Unbekannten zu suchen hat. Diese 2 Gleichungen geben an sich schon die Lösung der beiden hauptsächlichsten Fragen, nach dem Nutzeffect N der Maschine und der Verdampfung S des Kessels, wenn O durch Abmessung, p durch den Manometer, r durch Experimente oder Rechnung und v durch Beobachtung bekannt sind. Ist dagegen z. B. S, O, p und r durch Erfahrung bekannt, so löst sich die dritte Hauptfrage nach der Geschwindigkeit

$$(3) \quad v = \frac{S - s}{O\,(1 + m)\,(\alpha + \beta\, p)}$$

worauf man dann durch Einsetzen des Werthes von v in Formel (1) den Effect N bestimmt.

Der Effect kann übrigens auf sehr verschiedene Weise bezeichnet werden. Wir drücken ihn gewöhnlich in Kilogrammetern (75 . N) oder in Pferdekräften (N) aus, oder bestimmen ihn für das Brennstoffgewicht oder das Wasservolumen per Stunde und Pferdekraft. In letzterer Beziehung wissen wir aus Früherem **), daß 1 Klgr. Steinkohle im Mittel ungefähr 6 Klgr. Dampf liefern kann. Da nun S der Dampfconsum per Secunde von einer Maschine ist, welche N Pferdekräfte entwickelt, so ergiebt sich daraus der Kohlenconsum K per Stunde (zu 3600 Secunden) und per Pferdekraft zu

*) Der dritte Fehler der früheren Theorie war, daß sie immer nur eine Gleichung (die unter (1)) aufstellte, worin die Dampfproduction zugleich mit inbegriffen war. Da man nicht 2 Bedingungsgleichungen hatte, gerieth man in den Nachtheil, die Geschwindigkeit v nicht bestimmen zu können, welche aus der Gleichung (1) nicht zu finden ist, sondern sich nur aus Gleichung (2) ergiebt. Anmerk. d. Verf.

**) Siehe Cap. III. §. 26. S. 329.

$$(4)\quad K = \frac{S}{6} \cdot \frac{3600}{N} = 600 \cdot \frac{S}{N}$$

als mittlerer Werth.

Aus Gleichung (3) ergiebt sich unmittelbar, daß die mittlere Geschwindigkeit v der wirksamen Verdampfung (S — s) direct, dem Kolbenquerschnitt aber verkehrt proportional ist. Um die Geschwindigkeit zu regeln, also die Bewegung der Dampfmaschine gleichförmig zu erhalten, dienen bei den doppeltwirkenden rotirenden Maschinen folgende Apparate: Das Schwungrad, das Einlaßventil und der Regulator an der Maschine *) und das Schornsteinregister, Manometer und Sicherheitsventil am Kessel **). Das Schwungrad genügt, die Unregelmäßigkeiten der Verdampfung des Kessels, oder des Widerstandes der nützlichen Arbeit auszugleichen, wenn sie nur gering oder von kurzer Dauer sind. Die Stellung des Einlaßventiles mit der Hand oder dem Regulator wird aber erfordert, wenn diese Unregelmäßigkeiten merklicher, oder von längerer Dauer sind. Ueber gewisse Grenzen hinaus wird auch dieses Mittel unzureichend, so daß das letzte und wahre Mittel zur Regulirung der Geschwindigkeit in der sorgfältigen Unterhaltung des Feuers bei dem gehörigen Grade der Intensität besteht. Dies geschieht mit Hülfe des Schornsteinregisters, wodurch man den Luftzug vermehren oder vermindern kann. Das Manometer zeigt dabei in jedem Augenblick die Veränderung der Verdampfung im Kessel an und das Sicherheitsventil öffnet sich von selbst, sobald die Spannung bei Schluß der Dampfklappe zu hoch wird.

2) Untersuchung des Maximal-Effectes einer Dampfmaschine unter gegebenen Verhältnissen. Das Maximum des Effectes tritt ein, wenn das Verhältniß $\frac{N}{S}$ zwischen dem Nutzeffect und dem Dampfconsum ein Maximum, oder der Dampfaufwand für den größten Effect, d. h. $\frac{S}{N}$ ein Minimum wird. Nun erhalten wir unmittelbar durch Division der Gleichungen (1) und (2)

$$(5)\quad \frac{75\,N}{S} = \frac{0 \,.\, v\,(p - r)}{0 \,.\, v\,(\alpha + \beta\,p)\,(1 + m) + s} = \frac{p - r}{(\alpha + \beta\,p)\,(1 + m) + s}.$$

Um das Verhältniß einfacher und übersichtlicher zu machen, nehmen wir an, daß die nützliche Verdampfung der Bruttoverdampfung gleich sei, also s zu Gunsten von S wegfalle. Ferner ist α gegen $\beta . p$ eine kleine Größe (siehe §. 40), weil p im Verhältniß zu beiden Coefficienten sehr groß ausfällt; folglich kann man α vernachlässigen. Endlich werde der Verlust durch den schädlichen Raum m vernachlässigt, wodurch sich die Formel auf $\frac{p - r}{\beta p}$ reducirt, also wird

$$(6)\quad \frac{75 \,.\, N}{S} = \frac{1}{\beta}\left(1 - \frac{r}{p}\right)$$

d. h. ein Maximum des Effectes wird erhalten, wenn p gegen

*) Siehe Cap. IV. §. 31, 33 u. 36.
**) Siehe Cap. III. §. 29 u. 30.

r sehr groß, folglich das Verhältniß $\frac{r}{p}$ zwischen dem schädlichen Gegendruck und dem nützlichen Ueberdruck sehr klein wird. Dieses Maximum ist an sich also ganz unabhängig von der Größe des Cylinders und der Kolbengeschwindigkeit *). Weil aber in Formel (6) die Dampfverluste vernachlässigt sind; weil wir ferner wissen, daß die Dimensionen der Maschine, so wie der Dampfdruck von Einfluß auf den schädlichen Widerstand sind; daß endlich durch eine Vermehrung der Kolbengeschwindigkeit v die Reaction r auf den Kolben zunimmt, während durch eine Verminderung derselben die Größe und Gleichmäßigkeit des Cylinderdruckes befördert wird: so folgt, daß diese Verhältnisse bei der Beurtheilung eines absoluten Maximums nicht vernachlässigt werden dürfen, sofern sie nicht schon in r enthalten sind.

3) Bestimmung der Dimensionen einer neu zu erbauenden Maschine. Diese Frage hat Pambour in seiner „Allgemeinen Theorie" nicht gelöst, weil er sich in derselben nur mit der Untersuchung fertiger Maschinen beschäftigt. Dennoch ist diese Frage für die Praxis von der höchsten Bedeutung. Für eine neu zu erbauende Maschine muß gegeben sein: der Effect N der Maschine, so wie die Art derselben (ob Hochdruck oder Niederdruck 2c.), wodurch zugleich r bestimmt ist. Aus diesem Grunde muß p schon entschieden sein, ebenso v, damit die Transmission angeordnet werden kann und die Geschwindigkeit überhaupt eine angemessene wird. Es ist also nur O und S zu bestimmen, denn alle andern Größen, selbst die Länge des Schubes sind ohne Wichtigkeit, sobald man allein den Effect berücksichtigt. Aus Formel (1) ergiebt sich unmittelbar

$$(7) \quad O = \frac{75\ N}{(p - r)\ .\ v}$$

welchen Werth man sodann in Formel (2) einzusetzen und dadurch S zu bestimmen hat. Bei der Bestimmung von r findet sich aber, daß der Durchmesser des Dampfcylinders D schon als bekannt vorausgesetzt wird. Man muß also in der Berechnung von r vorläufig für D einen Schätzungswerth annehmen. Dies ist erlaubt, weil der Einfluß von D auf r nicht sehr groß ist. Hat man darnach O annähernd bestimmt, so setzt man das daraus gefundene D nochmals in die Formel für r ein und wiederholt die Rechnung. Die Formel (7) bestätigt, daß der Cylinderdurchmesser der Differenz der Dampfspannungen vor und hinter dem Kolben und der Geschwindigkeit des letzteren verkehrt proportional ist. Von den weiteren Dimensionen ist in der Formel keine enthalten. Redtenbacher hat jedoch durch die, in seinen „Resultaten" durchgeführte Methode der Verhältnißzahlen die Frage nach den Dimensionen vollständig gelöst, indem er dieselben sämmtlich von dem Durchmesser des Dampfcylinders abhängig macht **).

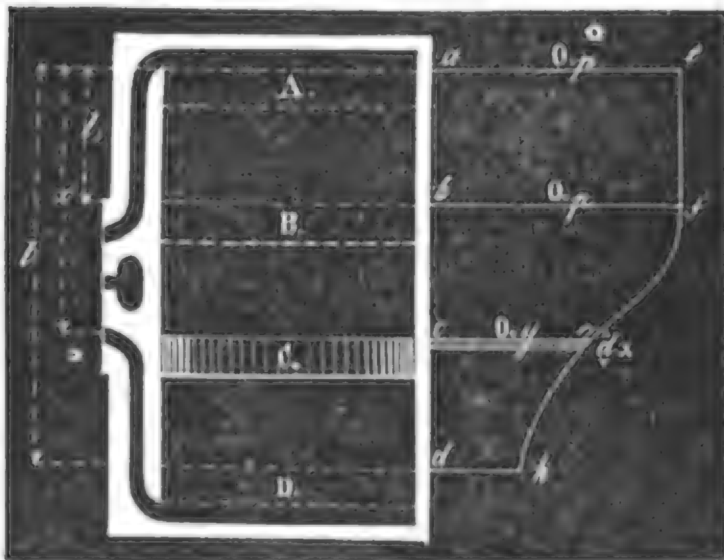
Daraus folgt, daß bei hoher Dampfspannung und großer Kolbengeschwin-

*) Dies widerlegt die Ansicht Pambour's (§ 47), welcher Ursache und Wirkung verwechselte und deshalb in einen Kreisschluß gerieth, aus dem er sich nicht befreien konnte. Bei der Fragestellung kommt es immer nur auf das Verhältniß zwischen Hinterdruck und Vorderdruck an, wobei natürlich alle Verhältnisse zu berücksichtigen sind, welche ersteren vermehren. Anmerk. d. Verf.

**) Einen Auszug geben die Tabellen im folgenden Capitel.

digkeit nicht nur der Cylinderquerschnitt, sondern auch der Kolbenschub und alle Verhältnisse der Maschine klein, d. h. der Bau compendiös und die Dimensionen schwach werden. Diese Maschinen werden also wohlfeil, aber nicht solid, folglich nur von kurzer Dauer sein. Der Effect kann selbst bei schlechter Ausführung noch günstig ausfallen, zumal wenn man mit Expansion arbeitet *). Darauf ist das amerikanische Hochdrucksystem von Evans ꝛc., so wie das Princip der Locomotiven gegründet, welche die Bedingung eines kleinen Volumens und schnellen Ganges zu erfüllen haben. Die Einwirkung eines schnellen Ganges auf den Effect ist in den vorhergehenden Capiteln schon erwähnt. Den Gegensatz dazu bilden die Maschinen mit geringer Kolbengeschwindigkeit und schwacher Dampfspannung, bei welchen das Verhältniß $\frac{p}{r}$ durch den Condensator günstig erhalten wird. Diese Maschinen haben einen großen Cylinderquerschnitt, also auch langen Kolbenschub und sehr starke Dimensionen. Sie sind bei sehr langsamen Gang von unverwüstlicher Dauer, aber umfangreich und kostspielig, schon wegen des Materials und der Fundamente. In dieses System gehören die Watt'schen und Woolf'schen und vor Allem die Cornwallmaschinen **).

§. 49. c) Maschinen mit Expansion. Auf den Vortheil und die Grenzen der Expansion ist schon wiederholt aufmerksam gemacht ***), und eine Berechnung der Wirkung bereits auf elementarem Wege vorgenommen worden ****). Diese Berechnung ist aber nicht nur weitläufiger, sondern auch ungenauer, als die mit Hülfe der Differentialrechnung, welche wir jetzt zu verfolgen haben.



Der ganze Schub eines Dampfkolbens in einem Cylinder sei l und zwar A die Anfangsposition, D die Endposition desselben. Wenn der Kolben die Position B erreicht, also den Weg l_1 zurückgelegt hat, werde der Dampf abgesperrt. C ist irgend eine Zwischenposition während der Expansion, wenn der Kolben den Weg x zurückgelegt hat. Die Intensitäten des Dampfdruckes p auf den Kolben vom Querschnitt O in jeder Position, werden nunmehr, wie früher *****) als Ordinaten aufgetragen. ae und bf sind die Druckordinaten bei voller Dampfspannung, cg eine Ordinate während der Expansion, dh die letzte Ordinate am Ende derselben. Während des Volldampfes

*) Siehe §. 44. S. 386.

**) Bei einer Kraft von circa 200 Pferden ist der Raum, den das Triebwerk einer Locomotive einnimmt, nicht größer, als ungefähr die Lagerplatte für die Kurbelwelle einer 200pferdigen Woolf'schen Maschine.

***) Siehe Cap. I. §§. 3, 11, 12, 16. Cap. IV. §. 35.

****) Cap. I. §§. 13, 17. Cap. II. §. 22.

*****) Siehe die Fig. S. 270.

ist der Druck constant $= O \cdot p$, folglich $aefb$ ein Rechteck. So wie die Expansion beginnt, nimmt der Druck ab, mithin senkt sich die Curve fgh. Hat z. B. der Kolben den Weg x zurückgelegt, so ist die Dampfspannung nur noch y, der Dampfdruck auf den Kolben also $O \cdot y$. Um die gesammte Wirkungsgröße des expandirenden Dampfes zu finden, hat man nur den Inhalt der Figur $bfghd$ zu berechnen, d. h. den successiven Werth der variabeln Größe y bei dem, zwischen den Grenzen l_1 und l veränderlichen x zu bestimmen.

Wenn der Kolben den Weg l_1 zurückgelegt hat, ist das Cylindervolumen $O l_1$, so wie der schädliche Raum $m \cdot O l$ mit Dampf gefüllt, dessen Normalspannung p beträgt. Es befindet sich also hinter dem Kolben ein Dampfquantum von der Dichte $(O l_1 + m \cdot O l)(\alpha + \beta p)$. Setzen wir nun voraus, daß während der Expansion kein Dampf entweicht, daß der Kolben vollkommen dicht schließt, daß kein Wärmeverlust entsteht und daß der Dampf kein Wasser in den Cylinder reißt: so muß sich nach wie vor der Absperrung ein gleich großes Dampfquantum hinter dem Kolben befinden, nur von verschiedener Spannung und Dichte. Hat also der Kolben den Weg x zurückgelegt, so ist der ursprünglich eingetretene Dampf in dem Raume $(O \cdot x + m \cdot O l)$ enthalten, und weil seine Spannung dabei y ist, so ist seine Dichte $(O x + m \cdot O l)(\alpha + \beta y)$. Das Gewicht beider Dampfmassen muß sich aber gleich sein, folglich erhalten wir:

$$(O \cdot l_1 + m \cdot O l)(\alpha + \beta p) = (O \cdot x + m \cdot O l)(\alpha + \beta y) \text{ *)}$$

Daraus erhalten wir den Werth des Dampfdruckes y auf den Kolben O in der Position x:

$$(10) \quad y = \left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right)\frac{l_1 + ml}{x + ml} - \frac{\alpha}{\beta}.$$

Die Wirkungsgröße des Dampfes während der Expansion, oder der Flächeninhalt der Figur $bfhd$ wird gefunden zu

$$[bfhd] = \int_{x=l_1}^{x=l} O y \cdot dx = O \cdot \int_{x=l_1}^{x=l} \left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right)\left(\frac{l_1 + ml}{x + ml} - \frac{\alpha}{\beta}\right) \cdot dx$$

$$(11) \quad [bfhd] = O \cdot \left[\left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right)(l_1 + ml)\int_{x=l_1}^{x=l} \frac{dx}{x + ml} - \frac{\alpha}{\beta} \cdot \int_{x=l_1}^{x=l} dx\right]$$

Nun ist $\displaystyle\int_{x=l_1}^{x=l} \frac{dx}{x + ml} = \text{lg. nat.}\left(\frac{l + ml}{l_1 + ml}\right)$ und $\displaystyle\int_{x=l_1}^{x=l} dx = l - l_1$

*) Diese Gleichung gilt aber nur unter den ausgesprochenen Voraussetzungen. Denn wenn der Dampf z. B. Wasser in den Cylinder reißt, welches dort verdunstet, so wird das Dampfquantum vermehrt, selbst wenn der Dampfcylinder nicht durch künstliche Heizung erhitzt wird. Denn bei der Expansion vermindert sich die Temperatur des Dampfes, während das herübergerissene Wasser noch die Kesseltemperatur besitzt und folglich verdunstet. (Vergleiche §. 20 und 45.) Die übrigen Bedingungen sind an sich klar. Wollte man alle Verluste berücksichtigen, so würde die Complication sehr bedeutend, ohne daß die Theorie einen größeren Werth erhielt.

Substituiren wir diese Werthe in Gleichung (11), so erhalten wir

$$(12)\quad [b\,f\,h\,d] = O \,.\left[\left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right)(l_1 + m\,l)\,.\,\mathrm{lg.\,nat.}\left(\frac{l + m\,l}{l_1 + m\,l}\right) - \frac{\alpha}{\beta}\,.\,(l - l_1)\right]$$

als Wirkungsgröße des Dampfes während der Expansion. Die Wirkung des Dampfes vor der Expansion ist der Inhalt des Rechteckes $[a\,e\,f\,b] = O\,p\,.\,l_1$ mithin die totale Wirkung des Dampfes

$$(13)\quad W_t = [a\,e\,h\,d]$$

$$= O\left[\left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right)(l_1 + m\,l)\ \mathrm{lg.\,nat.}\ \frac{l + m\,l}{l_1 + m\,l} - \frac{\alpha}{\beta}\,.\,(l - l_1) + p\,l_1\right]$$

Die nützliche Wirkung W_n des Dampfes ist aber geringer. Die auf den Kolben reducirte schädliche Gegenwirkung, die durch den Widerstand r ausgedrückt wird *), beträgt während eines Kolbenschubes $O\,.\,r\,.\,l$. Dies von der totalen Wirkung abgezogen, giebt die nützliche Wirkung $W_n = W_t - O\,.\,r\,.\,l =$

$$(14)\quad O\,l\left\{\left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right)\left[\frac{l_1}{l} + \left(\frac{l_1}{l} + m\right)\mathrm{lg.\,nat.}\left(\frac{l + m\,l}{l_1 + m\,l}\right)\right] - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r\right)\right\}$$

Setzen wir nun zur Vereinfachung

$$\frac{l_1}{l} + \left(\frac{l_1}{l} + m\right)\mathrm{lg.\,nat.}\ \frac{l + m\,l}{l_1 + m\,l} = k$$

so erhalten wir

$$(15)\quad W_n = O\,l\left[\left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right)k - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r\right)\right]$$

Wäre keine Expansion vorhanden, so würde $l_1 = l$, lg. nat. $1 = 0$ und $k = 1$, folglich würden wir die nützliche Wirkung nur unter der Relation $O\,.\,l\,(p - r)$ wie früher erhalten. Durch k wird also der Einfluß des expandirenden Dampfes ausgedrückt, der nach dem Verhältniß $\frac{l_1}{l}$ des Expansionsgrades verschieden ist. Redtenbacher **) fügt zu dem obigen Werth k noch einen Factor $\frac{0{,}08}{D\,.\,v}$. lg. nat. $\frac{l + m\,l}{l_1 + m\,l}$ hinzu, der den Dampfverlust zwischen Kolben und Cylinder berücksichtigt, um welchen der Effect noch verringert werden muß ***). Demnach ist der vollständige Werth von k =

$$(16)\quad \frac{l_1}{l} + \left(\frac{l_1}{l} + m\right)\mathrm{lg.\,nat.}\ \frac{l + m\,l}{l_1 + m\,l}\left[1 - \frac{0{,}08}{D\,.\,v}\,.\ \mathrm{lg.\,nat.}\ \frac{l + m\,l}{l_1 + m\,l}\right]$$

*) Siehe die Werthe in §. 46.
**) Resultate §. 257 u. 258.
***) Siehe §. 44.

Bei $D = 0{,}5$, $v = 1{,}3$ und $m = 0{,}05$ wird

$$(17) \quad \begin{cases} \text{für } \frac{l_1}{l} = & \frac{3}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} \\ k = & 0{,}958 & 0{,}846 & 0{,}685 & 0{,}568 & 0{,}535 \end{cases}$$

Man sieht daraus, daß k nicht sehr variabel ist. Innerhalb der Grenzen von $^3/_4$ bis $^1/_5$ Füllung, also innerhalb $^1/_4$ bis 5facher Expansion differirt k nur um 0,423. Innerhalb dieser Grenzen kann also der annähernde mittlere Werth von $k = 0{,}75$ gesetzt werden. Die Formel (15) giebt nur die Wirkung für einen Schub l. Der Effect in Pferdekräften per Secunde ist aber

$$75\, N = \frac{W_n}{\frac{l}{v}} = \frac{v \,.\, W_n}{l} \text{ mithin}$$

$$(18) \quad 75\, N = O \,.\, v \left[\left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right) k - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r\right)\right]$$

Dies ist die erste Bedingungsgleichung für das Gleichgewicht zwischen Kraft und Widerstand (analog der Gleichung (1) §. 47) im Beharrungszustand. Die zweite Bedingungsgleichung für das Gleichgewicht zwischen Dampfproduction und Consumtion (analog der Formel (2) §. 47) ergiebt sich einfach auf folgende Weise.

Bei jedem Kolbenschub consumirt der Cylinder ein Volumen $(m \,.\, O\,l + O\,l_1)$ von dem Kesseldampf. Da dieser Dampf die Spannung p hat, so ist das Gewicht dieses Volumens $(m \,.\, O\,l + O\,l_1)\,(\alpha + \beta\, p)$. Diese Consumtion geschieht in der Zeit $\frac{l}{v}$; wir erhalten also die Consumtion per Secunde zu

$$\frac{O \,.\, l\left(m + \frac{l_1}{l}\right)(\alpha + \beta\, p)}{\frac{l}{v}}.$$

Um die Bruttoverdampfung im Kessel zu erhalten, müssen die Dampfverluste s noch hinzugefügt werden, folglich ist die Dampfmenge in Klgr., welche per Secunde auf die Maschine wirkt,

$$(19) \quad S = O \,.\, v \,.\, \left(\frac{l_1}{l} + m\right)(\alpha + \beta\, p) + s$$

Die beiden Grundgleichungen (18) und (19) spielen dieselbe Rolle, wie früher die Gleichungen (1) und (2). Man kann folglich hinsichtlich der Expansionsmaschinen dieselben Fragen aufstellen, nur daß zu den bekannten 6 Größen noch eine 7., das Expansionsverhältniß $\frac{l_1}{l}$ hinzutritt, so daß man aus 7 Größen, sobald 5 gegeben sind, 2 finden kann. Der in Formel (18) in den Klammern enthaltene Ausdruck $\left[\left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right) k - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r\right)\right]$ ist der, auf den Quadratmeter bezogene mittlere Werth des nützlichen Widerstandes, der

im Beharrungszustand zu überwinden ist. Dieser ist dem Quotienten $\frac{75 \cdot N}{0 \cdot v}$ aus dem Product von Kolbenquerschnitt und Geschwindigkeit in den Effect, gleich.

§. 50. Zum besseren Verständniß des Unterschiedes der Dampfwirkung mit und ohne Expansion, so wie des Einflusses der Expansionsgrade führen wir noch 3 Beispiele an, bei welchen wir beliebige, einfache Zahlenverhältnisse wählen, um die Resultate möglichst übersichtlich zu machen.

1) Hochdruck mit geringer Dampfspannung und ohne Expansion. Es sei: $0 = 1$, $v = 1$, $p = 3$ Atmosph., $m = 0{,}05$, $\frac{0}{\Omega} = 30$ und $\frac{l_1}{l} = 1$, nach der Voraussetzung. Daraus folgt: $r = 13440$ Klgr. $= 1{,}3$ Atmosphären, $N = 1 \cdot 1 \cdot \frac{30000 - 13440}{75} =$ circa 220 Pferde und $S =$ circa 1,75 Klgr. Dampfconsum per Secunde. Die Frage nach dem Kohlenconsum beantwortet sich unmittelbar aus Formel (4). Nehmen wir an, daß 1 Klgr. Steinkohle 6 Klgr. Dampf per Stunde und Pferd producire, so ist

$$K = \frac{1{,}7}{6} \cdot \frac{3600}{220} = 4{,}6 \text{ Klgr. Kohle per Stunde und Pferd.}$$

Dieses, durchaus nicht günstige Verhältniß ist die Folge der geringen Dampfspannung und der Anwendung des Hochdruckes ohne Expansion.

2) Hochdruck mit 3facher Expansion. Wir behalten dieselben Dimensionen und denselben Kessel bei, heizen ebenso viel, produciren also ebenso viel Dampf, bringen aber eine Expansionsvorrichtung an und untersuchen nunmehr die Dampfspannung und den Effect der Maschine. Bekannt ist: $0 = 1$, $\frac{l_1}{l} = \frac{1}{3}$, $S = 1{,}7$, $m = 0{,}05$, $\frac{0}{\Omega} = 30$; zu suchen ist r, p, v und N. Um zunächst r bestimmen zu können, nehmen wir eine vorläufige Dampfspannung p an. Sie muß unbedingt höher sein und wir schätzen sie zu ungefähr 4 Atmosphären. Dann ist

$$r = 13423,$$

also der schädliche Widerstand nahe derselbe wie in Beispiel 1). Dies ist die natürliche Folge davon, daß wir die Dimensionen ungeändert gelassen haben. Aus gleichem Grunde muß der nützliche Widerstand, folglich auch der nützliche Dampfdruck nahe derselbe wie früher sein. Demnach ist annähernd (nach §. 49)

$$\frac{75\ N}{0 \cdot v} = \left(\frac{\alpha}{\beta} + p\right)k - \left(\frac{\alpha}{\beta} + r\right) = 30000 - 13423 = 16577 \text{ Klgr.}$$

der nützliche Widerstand. Da nun die Maschine diesen zu überwinden hat und sich umgekehrt darnach die Dampfspannung richtet, so erhalten wir den genauen Dampfdruck, nach Formel (18)

$$(20)\quad p = \frac{\frac{75 . N}{0 . v} + \left(\frac{\alpha}{\beta} + r\right)}{k} - \frac{\alpha}{\beta} = \frac{16577 + \frac{\alpha}{\beta} + 13423}{k} - \frac{\alpha}{\beta}$$
$$= 43882 \text{ Klgr.}$$

wenn wir für $\frac{\alpha}{\beta}$ nach §. 46 den Werth 3018 und für k nach §. 49 den Werth 0,685 einsetzen. Wir erhalten also eine noch höhere Dampfspannung von 4,38 Atmosphären, die sich von selbst herstellen muß, wenn der mittlere Widerstand derselbe bleiben soll. Nun ist ferner nach Formel (19)

$$(21)\quad v = \frac{S - s}{0 . \left(\frac{l_1}{l} + m\right)(\alpha + \beta\, p)} = \frac{1,7}{1\,(0,33 + 0,05)\,2,34} = 1,9^m$$

die Maschine läuft also ziemlich noch einmal so schnell als früher, weil zwar der Widerstand sich nicht geändert hat, wohl aber die Dampfspannung. Die Effecte verhalten sich wie die Geschwindigkeiten bei gleicher Last, folglich muß auch der Effect im Verhältniß 1 : 1,9 gegen das Beispiel 1) gewachsen sein und wir erhalten

$$N = \frac{19}{10} . 220 = 418 \text{ Pferde,}$$

also gleichfalls nahe das Doppelte. Obgleich nun nach der Voraussetzung ebenso viel Kohlen als früher consumirt werden sollen, so ist deshalb der Kohlenverbrauch per Pferd und Stunde um vieles geringer. Er vermindert sich im Verhältniß $\frac{220}{418}$, also ist

$$K = \frac{220}{418} . 4,6 = 2,4 \text{ Klgr. per Pferd und Stunde *).}$$

3) Hochdruck mit 5facher Expansion. Wir lassen Alles unverändert und verstärken nur die Expansion auf $\frac{l_1}{l} = \frac{1}{5}$, wodurch k = 0,535 wird, r aber nahe denselben Werth wie früher erhält. Wir erhalten sodann

$$p = \frac{16577 + 3018 + 13423}{0,535} - 3018 = 58682 \text{ Klgr.}$$

$$v = \frac{1,7}{(0,2 + 0,05)\;2,9} = 2,34 \text{ Meter.}$$

$$N = 220 . 2,34 = 514 \text{ Pferde}$$

$$K = 4,6 . \frac{220}{514} = 2 \text{ Klgr. per Stunde und Pferd.}$$

---

*) Dieses günstige Resultat wird durch die Erfahrung an gut gebauten Maschinen bestätigt. Für die besten Maschinen von kleineren Dimensionen kann man sogar 2 Klgr.; für die von 800 bis 1000 Pferdekraft sogar nur 1,6 Klgr. Kohle per Pferd und Stunde setzen.

Aus diesen numerischen Resultaten sieht man zunächst deutlich, welchen Unterschied der Wirkung und des Kohlenconsums dieselbe Maschine ohne und mit Expansion giebt, weil die expandirende Dampfmasse eine doppelte Wirkung hervorbringt, wobei die, durch die Expansion erzielte Wirkung ein reiner Gewinn ist *). Sodann folgt aber daraus, daß der Unterschied zwischen 3facher und 5facher Expansion nicht sehr bedeutend ist, daß also der Vortheil der Expansion bei $^1/_5$ Füllung seine äußerste Grenze ziemlich erreicht hat **).

§. 51. D) Maschinen mit Expansion und Condensation. Die in den vorigen Paragraphen entwickelten Formeln für Expansion gelten natürlich unverändert für Hochdruck- und Condensationsmaschinen, da die numerischen Werthe der Pressungen p und r auf die Formeln keinen Einfluß haben können. Nur die Bestimmung der Größe r ist eine wesentlich verschiedene. (Siehe §. 46.) Die Frage, unter welchen Umständen man Expansion und Condensation anordnen soll, gehört nicht hierher, und könnte aus dem Bisherigen auch nicht erschöpfend beantwortet werden. Doch ist leicht einzusehen, daß die Condensation auf den Effect günstig einwirken muß. Wendet man also beide Principe zugleich an, so leistet man das Aeußerste in Bezug auf die günstige Verwendung des Brennstoffes. Allein diese Maschinen sind um ebenso viel complicirter in der Construction und schwieriger in der Behandlung. Der Hauptvortheil der Condensation besteht immer nur in der Anwendung einer geringeren Dampfspannung bei geringem Gegendruck. Will man sehr stark expandiren, so ist die Condensation durch die Umstände sogar geboten, weil sonst der Kesseldampf eine sehr hohe Spannung erhalten müßte, um beim Ausströmen aus dem Cylinder noch den Atmosphärendruck 2c. überwinden zu können. Da aber bereits erwähnt ist, daß eine extravagante Expansion ohne erheblichen Vortheil ist, so ist es im Allgemeinen vorzuziehen, die Complication des Condensators zu vermeiden und den nur mäßig geschwächten Dampf frei ausströmen zu lassen. Dies ist der zweite Grund, welcher dem Expansionsgrade eine natürliche Grenze setzt. Den dritten, constructiven Grund werden wir im folgenden Capitel anführen ***). Die Grenze der Expansion bestimmt sich bei Condensationsmaschinen durch die gegebenen Verhältnisse von selbst, wie man am deutlichsten durch ein Beispiel erkennen wird.

Es sei gegeben $N = 100$, $v = 1$ ****), $\frac{l_1}{l} = \frac{1}{3}$, $m = 0{,}05$, zu suchen ist O und S, d. h. es ist die Maschine und der Kessel zu bestimmen, nach vorhergegangener Feststellung von p und r. Um p bestimmen zu können, muß man sich entscheiden, ob man Condensation anwenden will. Ist dies bestimmt, so kann r gefunden werden, wozu es aber der Annahme eines bestimmten Expansionsgrades und eines vorläufigen Cylinderdurchmessers bedarf. Wir haben 3fache Expansion angenommen; wenn die Expansion eine variable ist, so gilt $\frac{l_1}{l} = \frac{1}{3}$

*) Vergl. die §§. 3, 12 u. 13.

**) Siehe §. 22.

***) Siehe Cap. VIII. §. 55.

****) v ist an und für sich gleichgültig für die Erreichung des Effectes, sobald für diesen eine bestimmte Größe bereits gegeben ist. In Cap. VI. sind die Vortheile und Nachtheile einer geringen Geschwindigkeit angegeben. 1 Meter per Secunde ist der mittlere Werth der Kolbengeschwindigkeit, den schon Watt annahm. (Siehe §. 34.)

natürlich als mittlerer Werth, d. h. als diejenige Expansion, bei welcher man die normale Leistung der Maschine verlangt. Für D setzen wir vorläufig 1, da der Einfluß dieser Größe auf die Bestimmung von r überhaupt nicht bedeutend ist. Setzen wir ferner $h = 5$ und $\frac{O}{\Omega} = 30$, so ist für $p = 30000$ (Siehe §. 46)

$$r = 2540 + 16{,}66 \,.\, 30 \,.\, 1 \,.\, \left(\frac{11}{3} - 1\right)^{1{,}64} + 135 \,.\, 5 + 1058 + 744 = 5000$$

Klgr. oder circa $^1/_2$ Atmosphären. Folglich ist bei 3 Atmosphären Dampfspannung und 3facher Expansion, hinter dem Kolben zuletzt nur noch ein nützlicher Ueberdruck von $^1/_2$ Atmosphäre, da der Gegendruck gleichfalls $^1/_2$ Atmosphäre beträgt. Dieser geringe Druck wird gerade noch hinreichen, den nützlichen Widerstand zu überwinden, aber die Bewegung der Maschine wird schon nicht mehr gleichmäßig sein und verlangt zur Ausgleichung ein sehr großes Schwungrad. Nähmen wir aber die Spannung p geringer, vielleicht nur zu 1,5 Atmosphäre an, so wäre am Ende der Expansion $p - r = 0$ und die Maschine wäre auf dem Punkte, stehen zu bleiben, wenn nicht ein colossales Schwungrad ihr über diesen doppelten todten Punkt hinweghälfe. Somit ist für den Expansionsgrad eine bestimmte natürliche Grenze gegeben. Wir finden nun wie früher für die Maschine

$$O = \frac{75 \,.\, 100}{1 \left[(3018 + 30000)\, 0{,}685 - (3018 + 5000)\right]} = 0{,}513 \text{ Quadratm.}$$

woraus $D = 0{,}8^m$. Man sieht zugleich, daß der mittlere nützliche Druck nur 14600 Klgr., also noch nicht 1,5 Atmosph. beträgt. Die Maschine wird sich also so verhalten, als wenn durchgängig ein Druck von $1^1/_2$ Atmosph. ohne Expansion stattfände. Für den Kessel ist

$$S = 0{,}513 \,.\, 1\, (0{,}33 + 0{,}05) \,.\, 1{,}64 + 0{,}085 = 0{,}32 \text{ Klgr. Dampf}$$

per Secunde, wobei $\alpha = 0{,}1427$ und $\beta = 0{,}00004729$. Für die Feuerung ist endlich

$$K = \frac{0{,}32}{6} \,.\, \frac{3600}{100} = 1{,}92 \text{ Klgr. per Pferd und Stunde.}$$

Mit Condensations- und Expansionsmaschinen sind im Ganzen sehr wenig Versuche gemacht worden. Wir haben die vorzüglichsten früheren Versuchsresultate in Tabelle X (S. 317) mitgetheilt, unter welchen die meisten mit Pumpmaschinen angestellt waren, weil bei diesen der Effect direct durch das gehobene Wasser gemessen wird. Die Messungen an rotirenden Maschinen mit dem Brems-Dynamometer sind immer mit Schwierigkeiten und Nachtheilen verbunden.

Aus den vorhergehenden Beispielen sieht man aber deutlich, daß das Verfahren, die Leistung einer Maschine nach dem Kohlenverbrauch allein zu bestimmen, durchaus unzuläßig ist, weil man dabei die Begriffe von Kessel und Maschine verwechselt. Leistet eine Maschine Vorzügliches, so muß allerdings Kessel und Maschine gleich gut sein. Leistet sie aber weniger Gutes, so kann der Fehler zwar an der Maschine, ebenso gut aber am Kessel liegen.

Um die Leistung eines Kessels zu beurtheilen, muß man den Brennstoffaufwand mit der producirten Dampfquantität vergleichen. Um aber die Leistung der Maschine zu bestimmen, muß man die Spannung und Quantität des Dampfes mit der Wirkung

der Maschine direct vergleichen. Daraus geht hervor, daß das Poncelet'sche Verfahren (§. 24), die Leistung lediglich durch den Brennstoffaufwand auszudrücken, auf einer Illusion beruht, sobald nicht andere Angaben dazu treten. Das Verfahren rächt sich auch durch die enormen Differenzen zwischen seiner Theorie und der Erfahrung, welche er durch seine Coefficienten auszugleichen bemüht ist, die in den inneren Zusammenhang der Vorgänge in den Maschinen nicht den geringsten Einblick gestatten. Poncelet kam dadurch sogar in die Verlegenheit, die Leistung der Cornwallmaschinen für fabelhaft halten zu müssen (siehe S. 319), weil diese mehr nützliche Wirkung ausübten, als seine erfundene und falsche Theorie ihnen gestatten durfte!

Die gründlichsten Untersuchungen der Condensationsmaschinen sind mit den Cornwall'maschinen angestellt worden. Wir führen als Beispiel 5 Versuchsreihen an, welche Wicksteed *) in London mit einer Wasserhebungsmaschine anstellte, die nach dem Princip der einfach wirkenden Cornwallmaschinen, mit Condensation und Expansion construirt ist. Pambour und Poncelet **) führen dieses Beispiel an, indem Ersterer in seiner „Theorie der Dampfmaschine" eine Vergleichung zwischen Wicksteed's Beobachtungsresultaten und den Resultaten seiner Theorie daran knüpft. Die letzte Columne der Tabelle XII. enthält die idealen Werthe, welche Pambour für das absolute Maximum des Effectes gefunden hat. Es sind dies die vortheilhaftesten Combinationen, denen man sich möglichst nähern soll, sobald es die Umstände gestatten. Für die von Wicksteed gefundenen Resultate geben die 2 untersten Querreihen der Tabelle die Controlrechnung nach den Pambour'schen Formeln.

Tabelle XII.

Beobachtungsresultate von Wicksteed	Dauer der Versuchsreihen von Wicksteed					Berechnung von Pambour für das absolute Maximum des Nutzeffectes
	I. 96 Stunden	II. 144 St.	III. 168 St.	IV. 134,25 St.	V. 117,6 St.	
Cylinderdurchmesser D.	80 Zoll englisch	80	80	80	80	80
Kolbenfläche O nach Abzug des Querschnittes der Kolbenstange.	34,838 Q.-Fuß	34,838	34,838	34,838	34,838	34,458
Höhe des Schubes l.	10 Fuß	10	10	10	10	10
Schädlicher Raum m.	0,05 l	0,05 l	0,05 l	0,05 l	0,05 l	0,05 l
Verhältniß $\frac{l_2}{l}$ des Kolbenlaufes mit offenem Gleichgewichtsventil, zu dem ganzen Kolbenlauf	0,983	0,985	0,985	0,985	0,985	0,62

*) Wicksteed, an experimental inquiry on the Cornish and Watt Pumping Engines. (London, Weale.)

**) Mécan. appliquée Vol. II. Sect. 18. §. 309.

Beobachtungsresultate von Wicksteed	Dauer der Versuchsreihen von Wicksteed					Berechnung von Pambour für das absolute Maximum des Nutzeffectes
	I. 96 Stunden	II. 144 St.	III. 168 St.	IV. 134,25 St.	V. 117,6 St.	
Absoluter Vorderdruck im Cylinder und Condensator per Quadratzoll	0,73 Pfd.	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
Absoluter Hinterdruck im Kessel per Quadratzoll	30,45 Pfd.	34,7	42,7	45,7	51,7	50
Expansionsgrad $\frac{l_1}{l}$	0,603	0,477	0,397	0,352	0,313	0,10
Verdampfung S per Min. im Kessel	0,727 Cubikfuß	0,763	0,624	0,615	0,611	0,668
Kohlenconsum K per Min.	4,791 Pfd.	5,025	4,112	4,05	4,026	4,401
Schwere des Gegengewichtes pr. Quadratzoll, als bewegende Kraft für den aufsteigenden Kolben	11,037 Pfd.	11,037	11,037	11,037	11,037	15,85
Widerstände in der Maschine beim Kolbenniedergang, per Quadratzoll für die Einheit der Geschwindigkeit	0,821 Pfd.	0,821	0,821	0,821	0,821	—
Reibungswiderstände der leeren Maschine beim Kolbenniedergang	0,339 Pfd.	0,339	0,339	0,339	0,339	—
Widerstände in der Maschine beim Kolbenaufgang	10,269 Pfd.	10,269	10,269	10,269	10,269	—
Reibungswiderstände beim Kolbenaufgang	0,186 Pfd.	0,186	0,186	0,186	0,186	—
Gesammtwiderstand per Kolbeneinheit	11,09 Pfd.	11,09	11,09	11,09	11,09	12,13
Beobachtete Geschwindigkeit per Minute	60,35 Fuß	73,81	62,95	64,23	69,87	110,48
Berechnete Geschwindigkeit nach Pambour	58,59 Fuß	69,92	62,28	65,02	67,84	—
Nutzeffect der Maschine nach Pambour.	101 Pferde	124	106	109	118	204 Pferdekräfte

Wir hätten jetzt noch die Theorie der Woolf'schen Maschine, der einfach wirkenden Watt'schen Maschine, der einfach und doppelt wirkenden Cornwallmaschinen und die Theorie der atmosphärischen Maschinen mit oder ohne getrennten Condensator zu betrachten. Die Anwendung dieser Maschinen ist aber ebenso specieller Art, als ihre Theorie mehr oder weniger complicirt ist und außerhalb der Grenzen eines physikalischen Lexicons liegt. Wir müssen uns daher mit den bisher gegebenen Andeutungen begnügen, ohne auf das Nähere eingehen zu können, worüber auf spezielle Lehrbücher zu verweisen ist. Wir beziehen uns besonders auf:

An Experimental inquiry on the Cornish and Boulton and Watt Pumping Engines, by Th. Wicksteed; Nouvelle Théorie des machines à vapeur par Pambour; Mécanique appliquée par Poncelet, II. Vol.; Résumé des leçons sur l'application de la mécanique par Navier; Leçons de mécanique pratique par Morin III. Vol. Für Woolf'sche Maschinen hat auch Redtenbacher in seinen „Resultaten" (§. 259, 271 und 272) die hauptsächlichsten Formeln und Resultate zusammengestellt. — Die älteste Theorie der atmosphärischen Maschine und somit die erste Theorie der Dampfmaschine überhaupt erschien im Jahre 1784 unter dem Titel: Théorie des machines mues par la force de la vapeur de l'eau. Ouvrage, couronnée en 1783 à Pètersbourg, par De Maillard (Paris, Jombert). — Die vollständigsten Abbildungen der ältesten Dampfmaschinen findet man zuerst in Belidor, architecture hydraulique, 1736—53.

VIII.

Disposition und Construction der Dampfmaschinen.

§. 52. Sobald die Hauptdaten zur Bestimmung der Dimensionen einer neu zu erbauenden Dampfmaschine durch die Formeln des vorigen Capitels gefunden sind, kann man unmittelbar zu den praktischen Bestimmungen für den Bau der Maschine schreiten. Diese zerfallen in die Disposition des geometrischen Zusammenhanges der Kraft- und Bewegungsmechanismen und in die Construction der einzelnen Maschinentheile und deren Verbindung zu einem unveränderlichen Ganzen. Die wesentlichen Theile, als Cylinder, Kolben, Schubstange, Kurbel 2c. kehren fast immer unverändert wieder. Nur die Disposition der Mechanismen zur Kraftübertragung und zur Umwandlung der Bewegung, so wie der festen fundamentalen Verbindung der Haupttheile, ändert sich nach gegebenen Bedingungen.

Das Wesentliche des Baues besteht immer darin, den Dampfcylinder, in welchem der Kolben spielt, mit dem Apparat zur Kraftübertragung (gewöhnlich der Kurbelwelle) solid zu verbinden. Anordnungen, bei denen diese Verbindung direct hergestellt werden kann (wie die Maschine in §. 31), bedürfen keines besonderen Fundamentes. Dispositionen mit indirecter Kraftübertragung müssen aber ein solides steinernes Fundament haben, namentlich dann, wenn Cylinder

und Hauptwelle in gleicher horizontalen Ebene liegen, die Uebertragung der Bewegung aber nicht durch horizontal, sondern vertikal wirkende Kräfte geschieht. Daß ein Fundament nicht wesentliche Bedingung ist, beweisen die Locomotiven und Dampfschiffe, doch bedürfen auch diese immerhin einer festen Verbindung von Cylinder und Hauptwelle durch hölzerne oder eiserne Rahmen, gegen den horizontalen und vertikalen Schub *). Wenn bei Maschinenaufstellungen der Hochbau mitbegriffen und der Maschinenrahmen mit den Mauern verbunden ist, bildet das ganze Maschinenhaus ein unveränderlich festes Maschinengestell, das man durch Fundamente, Anker und Säulen gehörig zu sichern hat. (Siehe die Cornwallmaschine §. 35.)

In Bezug auf die Dispositionen der Bewegungsmechanismen bemühte man sich früher, möglichst viele Combinationen aufzustellen und den Cylinder in alle nur denkbaren Stellungen zur Kurbelwelle zu bringen. Auf diese Art entstand eine ganze Reihe von Maschinen, die aber wesentlich wenig verschieden sind. Der geometrische Zusammenhang ist für die Benutzung des Dampfes an sich ganz gleichgültig — nur die Solidität und Einfachheit des Baues ist nicht bei allen Constructionen gleich gut zu erreichen, zumal, wenn man Condensator, Hilfspumpen ꝛc. anzubringen hat. Die Kurbelwelle liegt bald über, bald unter, bald seitwärts, bald neben dem Cylinder. Das erste System (Fairbearn, Mayer ꝛc.) ist für bedeutende Kraftübertragungen, schon wegen der Höhe der Gestelle, nicht zu empfehlen, obgleich es den Vortheil bietet, ohne Wellenverbindung direct auf die Transmission wirken zu können. Das zweite System (Saulnier, Alban ꝛc.) bietet wegen der Anbringung und Bedienung der Hilfsapparate Schwierigkeiten und ist ebenfalls für stärkere Maschinen nicht vortheilhaft. Das dritte System (Schiffsmaschinen, Woolf) wird nur in einzelnen Fällen wegen Raumersparniß angewendet. Am solidesten und einfachsten ist immer die Anbringung der Hauptwelle und des Cylinders auf horizontaler Fundamentplatte, wobei für Hochdruckmaschinen ein liegender Cylinder, für Condensationsmaschinen und starke Maschinen überhaupt, ein stehender Cylinder mit Balancier vorzuziehen ist. Der Nachtheil des Fundamentes wird bei letzteren Maschinen durch den Vortheil aufgewogen, am Balancier die verschiedensten Mechanismen mit verschiedener Hubhöhe und Geschwindigkeit anbringen zu können, wogegen man bei Maschinen ohne Balancier in die Lage kommt, entweder den ursprünglich sehr einfachen Bau wegen den Pumpen ꝛc. complicirt zu machen, oder Bewegungsmechanismen, wie das Excentrik, als Kraftmechanismen anzuwenden, wozu sie schon wegen ihrer Reibung und Abnutzung nicht tauglich sind **). Im Allgemeinen gilt der Grundsatz, daß die Maschinen, bei welchen die Kurbelwelle möglichst nahe am Fundament, also tief liegt, die solidesten sind, sobald namentlich der Cylinder ebenfalls an der Fundamentplatte und nicht auf einem Gestell über der Welle angebracht ist.

---

*) Es giebt nur eine Construction, bei welcher theoretisch gar keine feste Verbindung der einzelnen Theile, also noch weniger ein Fundament nöthig wäre. Dies ist die Bodmer'sche Construction, bei welcher weder der Cylinder sich bewegen, noch die Welle sich heben würde, selbst wenn Beide freischwebend auf einander wirkten.

**) Meyer baut seine Maschinen mit obenliegender Welle bis zu 200 Pferden, hat aber wenig Nachahmer gefunden.

§. 53. Wie man die Dampfmaschine in Hinsicht der Größe der Dampfspannung (§. 14) oder in Bezug auf die Wirkungsart des Dampfes im Cylinder (§. 1 und 31) eintheilt, so kann man sie auch drittens in Rücksicht auf die Disposition des geometrischen Zusammenhanges classificiren. Die Disposition steht mit der Anwendung der Maschinen einigermaßen im Zusammenhang, doch ist eine nothwendige Gliederung nicht vorhanden. Wir versuchen folgende Eintheilung.

A. Direct wirkende Rotations-Maschinen ohne Kolben; Dampfturbinen, Reactionsräder ꝛc., auf die wir schon öfter (§. 1, 2, 31) hingewiesen haben. Der Dampf bewirkt, durch Druck, Stoß oder Reaction direct die Rotation der Triebwelle, wirkt unmittelbar und ununterbrochen nach derselben Richtung. Die Maschinen bieten daher den Vortheil der Einfachheit, da sie gar keiner Zwischenmechanismen, eines kleinen Raumes zur Aufstellung und keiner Fundamentirung bedürfen. Sie werden bei schnellem Gange und Uebertragung geringerer Kräfte, zur Bewegung von Ventilatoren, Drehbänken, Kreissägen, Centrifugalgebläsen und Centrifugalmaschinen aller Art benutzt. In neuerer Zeit gewinnen sie mehr Verbreitung, namentlich in England, woselbst man sie bis zur Kraft von 200 Pferden und darüber, namentlich bei Dampfschiffen angewendet haben will *). Der Nachtheil der rotirenden Maschinen besteht hauptsächlich in dem geringeren Nutzeffect in Folge der Verluste an lebendiger Kraft durch Stoß und der directen Dampfverluste (wegen der Schwierigkeit, hermetisch schließende Dichtungen anzubringen); ferner in der Abnutzung der rotirenden Theile und daraus folgender kurzer Dauer der ganzen Maschine. Auf die Kritik und Theorie dieser Maschinen näher einzugehen, ist hier nicht der Ort. In Dingler's Polytechnischem Journal findet man eine Reihe von Beschreibungen und Abbildungen rotirender Maschinen. Wegen ihrer eigenthümlichen Construction zeichnet sich besonders die Scheibenmaschine (Patent-Disc-Engine) von Bishopp und Rennie aus **). — Genauere Kenntniß der rotirenden Maschinen gewähren u. A. die Abhandlungen in Dingler's Journal 1838, Heft 5, in den Berliner Verhandlungen 1838, Heft 6, und im Edinb. New Phil. Journ. XLVII. 35. von Russell.

B. Kolben- oder Cylinder-Dampfmaschinen, die gebräuchlichsten und fast ausschließlich angewendeten Maschinen. Der Dampf bewirkt eine geradlinig wiederkehrende Kolbenbewegung in vertikaler oder horizontaler Ebene. Hierher gehören alle Systeme der einfach- und doppeltwirkenden Dampfmaschinen mit allen Dampfspannungen. Nach der Disposition theilen wir diese Maschinen in:

I. Maschinen mit geradlinig hin- und hergehender Bewegung oder unmittelbarer Anwendung der absetzenden Kolbenbewegung. Sie sind nur brauchbar, wo die Natur der zu verrichtenden Arbeit, die meist in Ortsveränderungen besteht oder auf Stoßwirkung begründet ist,

---

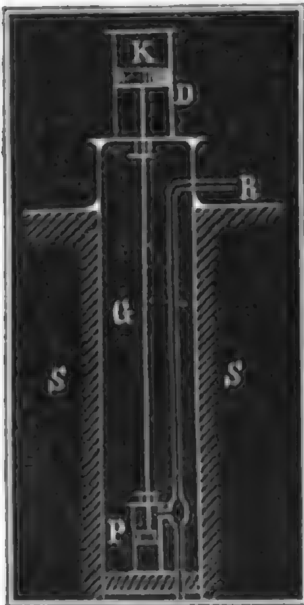
*) Siehe: Official, Descriptive and Illustrated Catalogue of the great Exhibition 1851. Part. II. Class. 5. No. 52.

**) Im März 1852 hat sich ein Kaufmann in Elberfeld ein preußisches Patent auf eine „Scheibenmaschine" ertheilen lassen, deren nähere Einrichtung noch nicht bekannt, die Anpreisung aber jedenfalls übertrieben ist. Siehe: Ann. des Mines 1842. II.

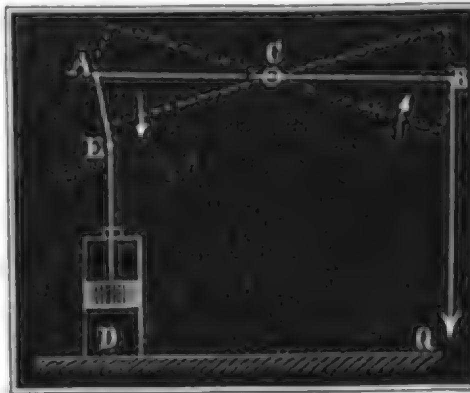
eine geradlinig absetzende Bewegung verlangt. Hierhin gehören: Schachtmaschinen, Pumpwerke, Gebläse, Sägen, Pochwerke, Schleifmaschinen, Dampfhammer und Dampframme ꝛc. Diese Maschinen zerfallen in:

1) Direct wirkende Maschinen, bei welchen die Arbeitsmaschine unmittelbar durch die Kolbenstange bewegt wird, wie bei Schachtpumpen, bei einigen Gebläsen, bei dem Dampfhammer, der Dampframme ꝛc. Die Maschinen sind, der Natur der Arbeit nach, fast immer einfach wirkend. (Siehe §. 11.) Fig. I. zeigt die Disposition einer direct wirkenden Maschine zur Bewegung einer Schachtpumpe. D der Dampfcylinder mit dem Kolben K, dessen Stange nach unten mündet und unmittelbar am Pumpengestänge G angebracht ist. Durch SS ist der Schacht angedeutet, über welchem der Cylinder aufgestellt ist. Durch das Gestänge G wird der Kolben der Pumpe P unmittelbar bewegt. Diese saugt das Grubenwasser aus der Tiefe auf und drückt es durch R in den Abzugscanal. (Vergl. S. 267.)

I.



II.



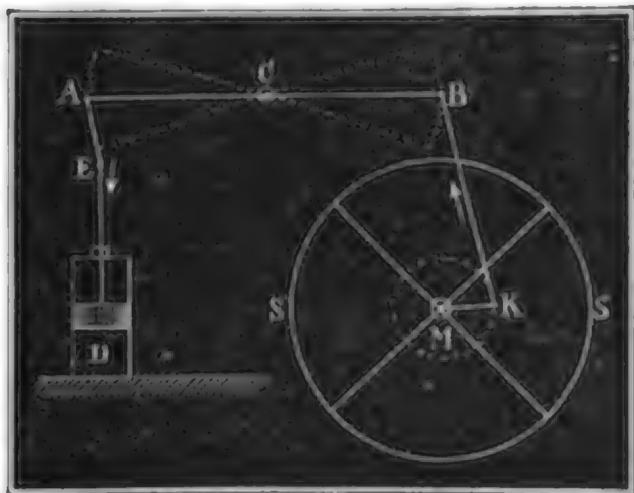
2) Indirect wirkende oder Balancier-Maschinen, mit Umsetzung der Kolbenbewegung in die entgegengesetzte, durch den Balancier. Besonders bei Pumpwerken, Gebläsemaschinen und bei einfach wirkenden Maschinen, durchgängig bei den atmosphärischen (§. 6) und Cornwall-Maschinen (§. 35) in Anwendung. Fig. II. giebt die Skizze der allgemeinen Disposition. D der Dampfcylinder mit Kolben; E die Kolbenstange; ABC der Balancier, um C drehbar; AE die Geradführung; BQ das Gestänge für die Last, meist ein Pumpen- oder Schachtgestänge. Das Gestänge sinkt durch seine eigene Last nieder, während der Dampfkolben aufwärts steigt. Beim Niedergange des Kolbens wird das Gestänge durch Dampfkraft gehoben. Das Nähere siehe §. 35.

II. Maschinen mit Verwandlung der geradlinig absetzenden Kolbenbewegung in continuirliche Kreisbewegung, oder indirect wirkende Rotationsmaschinen. Da die absetzende Kolbenoscillation in eine continuirlich kreisförmige Rotation verwandelt werden soll, so ist das Charakteristische dieser Maschinen eine Triebwelle, meistens Kurbelwelle, welche mittelbar erst die Bewegung der Arbeitsmaschinen hervorbringt, während bei den Maschinen unter I. die Kolbenstange unmittelbar bewegend auftrat. Hierher gehören fast alle Fabriksmaschinen, so wie sämmtliche Schiffsmaschinen, Rampenmaschinen, Fördermaschinen, Locomotiven und Locomobilen. Maschinen nach diesem System sind der allgemeinsten Anwendung fähig und daher auch am weitesten verbreitet und am meisten ausgebildet. Die Mechanik

besitzt sehr viele Mittel zur Verwandlung einer geradlinig hin- und hergehenden in eine rotirende Bewegung. Wir fassen sie unter folgenden Gesichtspunkten zusammen.

1) Rotationsmaschinen mit Balancier. System Boulton und Watt, nachgeahmt von Woolf, Fairbearn, Maudslay ꝛc. und bei den Schiffsmaschinen. Wir haben das System bei den Watt'schen Niederdruckmaschinen kennen gelernt (§. 36). Fig. I. giebt eine Skizze der allgemeinen Disposition. Die Bedeutung der Buchstaben ist dieselbe wie bei Fig. II. S. 412. Statt des Gestänges BQ ist nur hier eine Schubstange BK

I.



II.



angebracht, welche auf die Kurbel K wirkt und mit Hülfe des Schwungrades S die Kurbelwelle M in möglichst gleichförmige Drehung versetzt, während der Dampfkolben D geradlinig auf- und absteigt. Diese Maschinen bedürfen ebenso wie die vorhergehenden (unter I.), eines starken Fundamentes.

2) Rotationsmaschinen ohne Balancier, mit festem Cylinder und mit Schubstange.

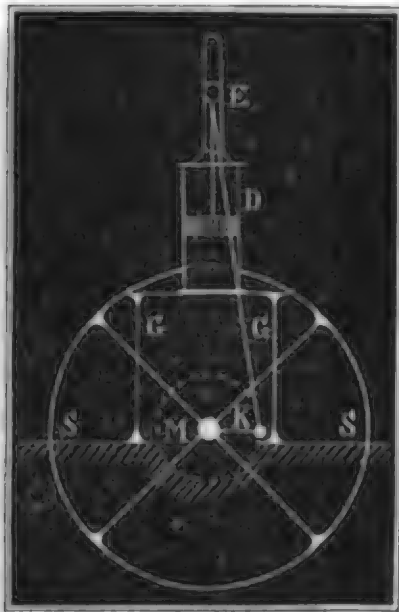
a) Mit directem Kolbenschub. Dahin gehören: System der Locomotiven (§. 31), der Hochdruckmaschinen von Bodmer u. A., der Condensationsmaschine von Fairbearn, der Expansionsmaschine von Meyer (§. 33) und der zweicylindrigen Maschine von Sims (§. 34) und Woolf. DE (Fig. II.) die Kolbenstange, an der unmittelbar die Schubstange EK befestigt ist, welche wie bei Fig. I. durch die Kurbel K auf die Kurbelwelle M wirkt. Die Kolbenstange wird durch Gleise ꝛc. parallel geführt, das Gestell zur Befestigung der Lager für die Welle M ist theils an einer Mauer, theils freistehend angebracht und besteht aus Rahmen, Säulen, Gebälk ꝛc. Die Maschine kann beliebig stehend, liegend oder hängend arbeiten, und bedarf keines Fundamentes, sobald Cylinder und Kurbelwelle durch einen festen Rahmen verbunden sind. Das Nähere siehe in §. 31 und 33.

b) Mit indirectem Kolbenschub. Die Umsetzung des Kolbenschubes in Zug, vermittelst der Schubstange, kann auf verschiedene Weise geschehen. Wir heben nur hervor:

α) System Saulnier, Egen und Maudslay, Fig. I. Der Cylinder D steht oberhalb der Triebwelle M. Die Kolbenstange DE schiebt nach oben, während die Schubstange EK nach unten auf die Kurbel KM durch Zug wirkt. Die Kolbenbewegung ist folglich „umgesetzt", und arbeitet im entgegengesetzten Sinne auf die Kurbel. Bei E ist die Geradführung, bei G das Gestell angedeutet. Die Construction ist elegant, aber nicht sehr vortheilhaft.

β) System Powels, Fig. II. Eine Combination der Systeme von Saulnier und Meyer. Der Cylinder D steht unterhalb der Kurbelwelle.

I.



II.



Die Kolbenstange DE trägt bei E eine feste Traverse HH, und diese 2 Schubstangen HF, welche als Fortsetzung der Kolbenstange anzusehen sind. Bei F, wo die Geradführung sich befindet, wird die Bewegung umgesetzt. Die eigentliche Schubstange FK wirkt nach unten, vermittelst der Kurbel KM auf die Kurbelwelle M, welche also in der Mitte zwischen Cylinder und Geradführung liegt. Der Vortheil ist nur der, daß die Triebwelle nicht so hoch liegt, wie bei den Meyer'schen Maschinen, und daß folglich das System für Schiffsmaschinen angewendet werden kann. Der Schub der Kolbenstange wirkt als Zug auf die Kurbel und umgekehrt. S Schwungrad, G Gestell.

3) Rotationsmaschinen ohne Schubstange mit schwingendem Cylinder oder oscillirende Maschinen. Bei diesen Maschinen fällt nicht nur der Balancier, sondern auch die Schubstange weg, sie sind also sehr compendiös und einfach und bedürfen in den meisten Fällen keines Fundamentes. Die Maschinen sind zwar sehr alt, werden aber erst in neuerer Zeit, namentlich als Schiffsmaschinen angewendet. Die Kolbenstange ist unmittelbar an die Kurbel angeschlossen. Damit aber letztere rotiren kann, muß die Kolbenstange den Seitenbewegungen der Kurbel folgen können. Deshalb charnirt entweder die Kolbenstange im Kolben selbst, oder, was das Gewöhnlichere ist, der Dampfcylinder ist so aufgehangen, daß er bei jeder Umdrehung der Kurbel, d. h. bei einem vollständigen Kolbenspiele, eine Schwingung machen muß.

Wir theilen demnach die oscillirenden Maschinen ein in:

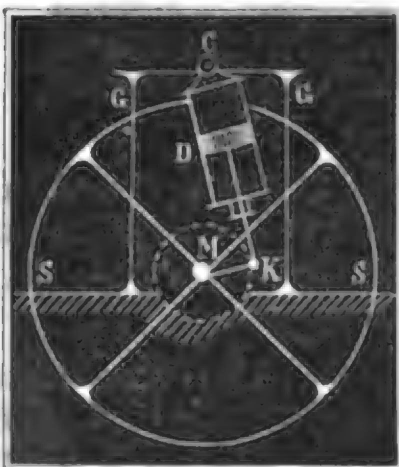
a) Maschinen mit oscillirendem Cylinder. Alle Maschinen, die unter 2) mit festem Cylinder angeführt sind, finden ihren Pendant mit schwingendem Cylinder. Wir unterscheiden:

α) Englisches System, hauptsächlich bei Schiffsmaschinen angewendet, von Cavé, Borsig u. A. ausgeführt. Der Cylinder D (Fig. I.) schwingt um 2 Zapfen, die zu beiden Seiten desselben im Mittelpunkt des Kolbenschubes angebracht sind. Die Kolbenstange DK wirkt unmittelbar auf die Kurbel KM. Indem sie hin und hergeht, schwingt der Cylinder nach oben und unten oder nach rechts und links. Man kann dem Cylinder jede beliebige Stellung zur Kurbelwelle geben und letztere entweder oberhalb, unterhalb oder neben dem Cylinder anbringen. Im letzteren Falle, den die Figur angiebt, liegen die Zapfen des Cylinders mit der Kurbelwelle auf derselben Fundamentplatte. Damit die Kolbenstange CK sich nur in ihrer Axenrichtung bewegen kann, ist eine Führung auf dem schwingenden Cylinder selbst angebracht. In dem Cylinderzapfen C befindet sich die Dampfleitung mit Selbststeuerung.

I.

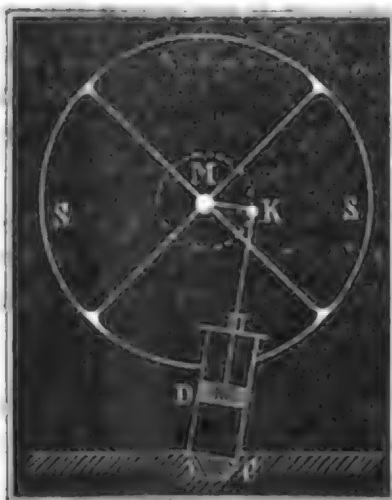


II.



β) Deutsches System, Alban. (Fig. II.) Die Aenderung besteht darin, daß die Zapfen C mit der Dampfleitung nicht in der Mitte, sondern am Ende des Cylinders angebracht sind. Der Cylinder hängt an einem Gestell oberhalb der Triebwelle und arbeitet direct nach unten auf dieselbe. Die Bedeutung der Buchstaben wie früher.

III.



γ) Französisches System, Faivre. (Fig. III.) Eine geringe Abänderung des Alban'schen, mit umgekehrter Stellung der Hauptheile. Statt besonderen Zapfen am Cylinderboden, läuft der Cylinder in ein Kugelgelenk aus und bildet dadurch selbst den Schwingungsmittelpunkt. In dem Kugelgelenk C ist die Dampfleitung angebracht. Die Selbststeuerung ist hier am einfachsten.

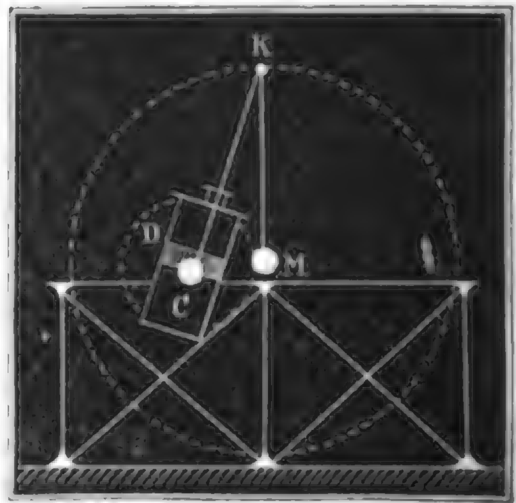
b) Maschinen mit oscillirender Kolbenstange, von Broderip u. Brunel; in England bis zu 1000pferdigen Schiffsmaschinen angewendet. Um die Zapfen zu beseitigen, welche sowohl wegen der Steuerung unbequem, als wegen der Abnutzung sogar gefährlich sind, macht man den Cylinder feststehend und

läßt die Kolbenstange innerhalb des Cylinders schwingen. Die Maschinen werden dadurch außerordentlich compendiös und können mit sehr geringem Hub arbeiten. Fig. I. zeigt die Einrichtung. Am Kolben D befindet sich der Zapfen C, um welchen die Kolbenstange CK schwingt. Um den Ausschlag der Kolbenstange nach rechts und links zu ermöglichen, ohne den dampfdichten Schluß des Cylinders zu beeinträchtigen, ist die Kolbenstange mit einem Mantel H von sehr gedrücktem elliptischen Querschnitt umgeben, welcher in einer großen Stopfbüchse geführt wird, mit dem Kolben auf- und niedergeht und die Kolbenstange von aller

I.



II.



Communication mit dem Dampfcylinder abschließt. Der Verlust an Druckfläche, der durch den Mantel H auf der oberen Fläche des Kolbens D entsteht, ist bei großen Maschinen, für welche das System allein empfohlen werden kann, *nicht* erheblich und kann durch den Expansionsgrad ausgeglichen werden.

c) Maschinen mit rotirendem Cylinder, amerikanisches System von Wilder. Fig. II. Wenn die Entfernung CM (Fig. I. S. 415. Nr. 3) a α) der Schwingungsaxe C des Cylinders von der Wellenaxe M kleiner ist, als die Länge MK des Kurbelarmes, so geht die schwingende Bewegung des Dampfcylinders in eine rotirende über. Die Kurbel MK beschreibt dabei einen Kreis um M, der größer ist als der Kreis, den der Cylinder D um seinen Zapfen C beschreibt. Dieses Princip ist namentlich in Amerika vielfach benutzt und mit mannigfachen Aenderungen ausgeführt worden. Man findet u. A. eine Reihe von Maschinen mit rotirendem Cylinder in „Scientific American" (New-York) abgebildet. Diese Rotationsmaschinen schließen sich unmittelbar wieder an die direct wirkenden rotirenden Maschinen ohne Cylinder (unter A.) an, und wir haben auf diese Weise einen abgeschlossenen Cyclus von Bewegungssystemen erhalten, innerhalb welchem eine ganze Reihe von Modificationen nicht nur möglich, sondern zum großen Theile auch ausgeführt ist.

Auf eine Vergleichung dieser verschiedenen Systeme können wir hier ebenso wenig eingehen, als die Construction derselben näher beleuchten. Der Hauptunterschied der meisten Maschinen besteht nur in der Construction der Bewegungs-

mechanismen und namentlich auch der Steuerungsapparate. In §. 52 sind die Vortheile und Nachtheile der Hauptsysteme bereits angedeutet worden. Man hat mit der Disposition des geometrischen Zusammenhanges oft gespielt, ohne dadurch irgend einen erheblichen Vortheil erreicht zu haben. Oft wurde nur eine neue Disposition ersonnen, um nicht für einen directen Nachahmer gehalten zu werden, oder um irgend ein Patent zu umgehen. Auf diese Art hat man allerdings eine große Anzahl von Constructionen erhalten, unter welchen man, in Deutschland wenigstens, eine freie Auswahl hat. Wesentlich Neues, das wirklich eine Erfindung genannt zu werden verdient, ist im Ganzen sehr wenig erschienen. Die meisten Constructionen sind nur sogenannte „Verbesserungen", deren es aber unzählige giebt. Was wirklich historischen Werth hat, ist von der Nachwelt gesammelt, aufbewahrt und benutzt worden. Wir haben in Cap. I. und IV. die Hauptsysteme bereits vorgeführt.

§. 54. Ist die Disposition des geometrischen Zusammenhanges festgestellt, so beginnt die Construction der Maschinentheile. Dafür bieten die bisher gegebenen Formeln, außer den Hauptdaten, die man aus Cap. VII. erhält, noch keinen Anhaltpunkt dar. Die Poncelet-Morin'sche Theorie, ebenso wie die Pambour'sche, giebt über die praktischen Constructions-Verhältnisse überhaupt keinen Aufschluß. (Siehe Cap. II. §. 23. Cap. VII. §. 50.) Man war also bisher gezwungen, sich entweder mit empirischen Resultaten zu begnügen, die man aus der eigenen Erfahrung genommen hatte, oder sich nach Regeln zu richten, nach welchen vorzügliche Constructeure, theilweise instinktiv, die Dimensionen ihrer Maschinen bestimmt hatten.

Es bestehen namentlich gewisse Grundverhältnisse, die, aus früherer Zeit stammend, sich traditionell erhalten haben, nach welchen die Constructeure sich bisher ziemlich übereinstimmend richteten. Diese praktischen Regeln für die Construction der Dampfmaschinen rühren zum großen Theil von Watt selbst her, welcher mit der, ihm eigenthümlichen Geistesschärfe, auf dem Erfahrungswege die richtigen constructiven Verhältnisse gefunden hatte. Man begnügte sich daher, nach dem Watt'schen Muster zu bauen und konnte so lange füglich jeder Theorie entbehren, als keine andern, als Watt'sche Niederdruckmaschinen gebaut wurden. Eine Mannigfaltigkeit von Erfahrungen konnte auf diese Weise nicht gesammelt, mithin eine Theorie daraus nicht abgeleitet werden, da selbst die Uebereinstimmung der äußeren Form festgehalten wurde. Erst mit den Locomotiven traten sowohl dynamische als constructive Erscheinungen und Forderungen auf, welche eine große Mannigfaltigkeit bedingten und als Grundlage zu neuen Gesetzen und Regeln dienten.

Das Charakteristische der Watt'schen Maschinen ist, daß sie geometrisch ähnlich sind. Diese Thatsache ist auch rationell vollkommen gerechtfertigt. Sobald constructive Verhältnisse und richtige Dimensionen einmal gefunden sind, soll es, nach Redtenbacher, für jedes Maschinensystem nur eine Normalform geben, welche, in größerem oder kleinerem Maßstab ausgeführt, den verlangten Leistungen entsprechen muß. Bei den Watt'schen Maschinen war sogar die Kolbengeschwindigkeit, bis auf geringe Schwankungen, allenthalben gleich. Da nun das System unverändert beibehalten wurde, die Geschwindigkeit erfahrungs-

mäßig festgesetzt, die Construction sich geometrisch ähnlich war, so bedurfte es nur eines bestimmten Dampfdruckes, der von Watt zu 0,8 Atmosphären festgestellt wurde, den man constant zu erhalten brauchte, um den Watt'schen Maschinen den Nominalwerth von Pferdekräften zu ertheilen. So wie man den Dampfdruck steigen und die Kolbengeschwindigkeit zunehmen läßt, leisten diese Maschinen bedeutend mehr, als ihnen ursprünglich zukommt. Watt stellte auch seine Regeln, den damaligen Verhältnissen entsprechend, für ziemlich schlecht ausgeführte und unterhaltene Maschinen auf, so daß dieselben schon bei guter Ausführung und Behandlung einen viel größeren Effect geben mußten, als den, wofür sie verkauft wurden. Für Fabriksmaschinen und Dampfschiffe ist dieses Verfahren auch durchaus gerechtfertigt, da die Kraft, welche bei derartigem Betriebe ausgeübt werden muß, eine sehr variable ist, so daß man die Construction niemals nach den normalen Verhältnissen, sondern nach dem Maximum des Effectes einzurichten hat, der überhaupt gefordert werden kann. Weil Watt von diesem Grundsatze ausging, erhielten seine Maschinen sehr starke Dimensionen, welche, von seinen Nachfolgern beibehalten, das Charakteristische des englischen Constructionssystemes bilden. Die praktischen Regeln, welche Watt für seine Niederdruckmaschinen bei 0,8 Atmosphären-Spannung aufstellte, dehnte Morin, meist unverändert, auch auf Mittel- und Hochdruckmaschinen aus. Wir theilen diese Hauptregeln im Folgenden mit, wie sie Morin in seinem „aide mémoire de la mécanique pratique" zusammengestellt hat.

1) Für 1 Atmosphäre Druck im Kessel beträgt die Dampfmenge, welche für 1 Pferdekraft in 1 Minute erforderlich ist, 0,935 Cubikmeter *). Das Volumen Wasser, das verdampft werden muß, ist hiernach 0,00055 Cubikmeter in 1 Minute, oder 1 Pariser Cubikfuß in 1 Stunde per 1 Pferdekraft.

2) Der Durchmesser D des Dampfcylinders wird in Metern nach der Formel erhalten:

$$D = \sqrt{\frac{0{,}1986 \,.\, N}{v}}$$

wobei N die Anzahl der Pferdekräfte und v die mittlere Kolbengeschwindigkeit in Metern bedeutet.

3) Die Kolbengeschwindigkeit soll sein

1	Meter	per	Secunde	für	Maschinen	von	4	bis 20	Pferden
1,1	„	„	„	„	„	„	20	„ 30	„
1,2	„	„	„	„	„	„	30	„ 60	„
1,3	„	„	„	„	„	„	60	„ 100	„

4) Die Anzahl der Kolbenspiele per Minute ist für die Watt'schen Maschinen (nach Morin)

*) Die Poncelet'sche Formel (§. 22) für Niederdruck würde nur 0,738 Cubikmeter ergeben. Der Ueberschuß, welchen die Watt'sche Regel giebt, dient dazu, den Dampfverlust durch Entweichen und Abkühlung, bei schlecht bedienten Maschinen, zu ersetzen.

28	Spiele	per	Minute	für	Maschinen	von	4	bis	8 Pferden
25	=	=	=	=	=	=	8	=	15 =
22	=	=	=	=	=	=	15	=	25 =
20	=	=	=	=	=	=	25	=	40 =
18	=	=	=	=	=	=	40	=	60 =
16	=	=	=	=	=	=	60	=	100 =

5) Die Länge des Kolbenhubes ist nach Watt 1,1 bis 2,5 Mal vom Durchmesser des Cylinders.

6) Der Durchmesser des Dampfrohres soll $^1/_5$ vom Durchmesser des Cylinders, der Querschnitt also $^1/_{25}$ von der Kolbenfläche betragen.

7) Der Durchmesser der Luftpumpe beträgt $^2/_3$ vom Cylinderdurchmesser, der Kolbenhub ist die Hälfte vom Hub des Dampfkolbens. Die Oeffnung der Ventile soll $^1/_4$ vom Querschnitt der Luftpumpe betragen.

8) Der Raum, den die Kaltwasserpumpe bei einem einfachen Hub beschreibt, soll $^1/_{18}$ vom Inhalt des Dampfcylinders sein. Die Oeffnung des Injectionshahnes soll 3,22 bis 4,3 Quadratcentimeter per Pferdekraft betragen.

9) Die Fläche des Sicherheitsventiles soll 4,056 Quadratcentimeter, der Druck auf das Ventil 0,91 Klgr. per Pferdekraft betragen.

10) Die Länge des Balanciers, oder richtiger die horizontale Entfernung zwischen der Cylinder- und Kurbelwellenaxe soll dem 3fachen Kolbenhub gleich sein.

11) Die Kolbenstange von Schmiedeeisen soll einen Durchmesser von $^1/_{10}$ des Kolbendurchmessers haben. Dies entspricht einer Belastung von 98 Klgr. per Quadratcentimeter Querschnitt.

12) Die Schubstange soll 3 Mal so lang als der Kolbenhub sein. Die Kurbel ist genau $^1/_2$ Kolbenhub. Der Querschnitt der Schubstange von Gußeisen soll $^1/_{28}$ von der Kolbenfläche betragen, was einer Belastung von 35 Klgr. per Quadratcentimeter Querschnitt entspricht. Der Durchmesser des Schwungrades soll 3 bis 4 Mal so groß als der Kolbenhub sein. Das Gewicht desselben richtet sich nach der Natur der Arbeit, welche die Maschine zu vollbringen hat.

§. 55. In diesen Watt'schen Grundregeln liegen schon die Bedingungen zur Methode der Verhältnißzahlen, welche von Redtenbacher consequent durchgebildet wurde. Sobald Redtenbacher erkannt hatte, daß die Watt'schen Maschinen geometrisch ähnlich seien, stellte er die Hauptregel auf, daß es für jedes Maschinensystem nur ein System von Verhältnißzahlen geben müsse, welche sämmtlich auf eine Hauptdimension zu beziehen seien. Dies gilt bis auf geringe Modificationen, besonders hinsichtlich der Metalldicken aller unbeweglichen Maschinentheile. Eine Maschine, die doppelt so groß ist, als eine andere, wird eine 4fache Kraft ausüben, aber zu starke Dimensionen erhalten, wenn man die unbeweglichen Maschinentheile in gleichen Proportionen verstärken wollte. Die beweglichen Bestandtheile aber folgen dem Gesetze der geometrischen Aehnlichkeit. Dies gilt namentlich von den Zapfen. Denn bei gleicher Kolbengeschwindigkeit und gleicher Dampfspannung wird die Pressung auf

die Zapfen für eine doppelt so große Maschine ebenfalls die 4fache sein, folglich müssen auch die Zapfen doppelt so stark werden. Dies Gesetz erleidet nur da Modificationen, wo das Gewicht der Maschinentheile in Betracht kommt, namentlich am Balancier und Schwungrad. Da für große Maschinen das Gewicht dieser Theile verhältnißmäßig größer ist, als für kleinere Maschinen, so müssen die betreffenden Zapfen auch verhältnißmäßig stärker werden.

Der Durchmesser D des Dampfcylinders, auf welchen alle Dimensionen zu beziehen sind, ergiebt sich durch graphische Darstellung, vermittelst Abscissen und Ordinaten, sobald man für einzelne normale Fälle den Zusammenhang von D (worauf auch der Widerstand r bezogen ist), mit der Geschwindigkeit v und der Anzahl Pferdekräfte N festgestellt hat. Die Curve, welche daraus entsteht, ist nahezu eine Parabel, woraus die Constante als empirische Formel gefunden wird. Die Anzahl n, der Umdrehungen der Maschine per Minute, ergiebt sich aus der Hubhöhe l und der Kolbengeschwindigkeit v, welche beide auf einander zu beziehen sind, nämlich aus $v = \frac{2 . l . n}{60}$ zu $n = \frac{30 . v}{l}$. Die unbekannten mittleren Werthe sind einfach durch Interpolation zwischen den bekannten Werthen zu finden, welche im folgenden Paragraph nach Redtenbacher's Vorgang zusammengestellt sind. Nach der Watt'schen Regel geht die Luftpumpe gewöhnlich zu schnell, wenn man ihr den halben Hub des Cylinders giebt. Die Ventile leiden dadurch und die Pumpe verursacht Stöße und Schläge. Eine gute Pumpe sollte nie mehr als 1 Fuß Geschwindigkeit haben. Für die Stärke des Kurbelzapfens und der Kurbelwelle soll man ferner nicht den mittleren Werth der Kraftäußerung, sondern das Maximum des Nutzeffectes N. der Berechnung für die Größe des Torsionsmomentes, zu Grunde legen, wobei die Schubstange senkrecht auf der Kurbel stehend anzunehmen ist.

Die Größe der Heizfläche des Kessels soll stets nach der Dampfmenge, welche die Maschine consumiren wird, die folglich auch producirt werden muß, und niemals nach dem Nominalwerth an Pferdekräften eingerichtet werden. Das Verfahren, per Pferdekraft für Maschinen von verschiedener Größe dieselbe bestimmte Heizfläche festzusetzen, ist durchaus unzulässig. Große Maschinen geben schon aus dem Grunde eine bessere Leistung, als kleine Maschinen, weil bei letzteren der Kessel, wenn man ihn per Pferdekraft Heizfläche berechnet, fast immer zu klein ausfällt. Für große Maschinen kann der Kessel verhältnißmäßig kleiner werden. Es hat überhaupt keinen Sinn, für eine Maschine einen Nominalwerth von einer gewissen Anzahl von Pferdekräften anzugeben, wenn man nicht zugleich angiebt, mit welcher Spannung im Cylinder und mit welcher Kolbengeschwindigkeit die Maschine arbeitet. Denn ohne diese letzteren Bestimmungen könnte streng genommen jede Maschine jeden beliebigen Effect leisten, sobald nur der Kessel groß genug wäre.

Die strenge Festhaltung der Watt'schen Regel für die Länge des Kolbenschubes ist, namentlich seit Einführung der Locomotiven, unmöglich, und wie wir bereits aus Cap. V. wissen, auch unwesentlich. Watt gab für Schiffsmaschinen mit Ruderrädern 1,1, für Fabriksmaschinen 2,5 Mal den Durchmesser, als Norm für den Kolbenhub an. Die erstere Angabe hat durch Anwendung der

Schraubenschiffe ihre Giltigkeit verloren. Man nimmt in vielen Fällen jetzt einen sehr geringen Schub mit großer Kolbengeschwindigkeit an. In Amerika ist man so weit gegangen, die sehr schnell laufende Schraube der Dampfschiffe direct, ohne Transmission, durch den Kolben bewegen zu lassen. Eine gleiche Bedingung liegt bei den Locomotiven vor.

Abgesehen von einzelnen Abweichungen gilt das über Niederdruckmaschinen Ausgesprochene, auch für solche mit Hochdruck. Auch diese Maschinen sind stärker und ausgedehnter, als der Nominalwerth an Pferdekräften erforderte, weshalb auch in den Fabriken fast alle Maschinen mehr leisten, als sie leisten sollen. Dieser Gebrauch ist für den Nutzeffect der Maschinen nur von Vortheil. Die Maschinen werden meist so construirt, daß sie bei einer Spannung von 3,5 Atmosphären den verlangten Normaleffect geben, daß sie aber bei Steigung der Widerstände und daraus folgender Steigung der Kesselspannung einen erhöhten Nutzeffect geben, unbeschadet der Haltbarkeit, sobald ein Maximum nicht überschritten wird. Der Effect ist gleich günstig mit dem der Watt'schen Maschinen, da die Widerstände ungefähr im gleichen Verhältnisse mit der Dampfspannung steigen, so daß das Verhältniß zwischen Vorderdruck und Hinterdruck das gleiche bleibt. (Siehe Cap. VII.)

Bei den Expansionsmaschinen tritt noch eine Bedingung hinzu, welche auf die Stärke der Maschinentheile von Einfluß ist, besonders bei Maschinen mit rotirender Bewegung, weniger bei den Pumpmaschinen mit geradlinig hin- und hergehender Bewegung. Bei starker Expansion müssen nämlich alle Maschinentheile ebenfalls sehr stark sein. Bei 10facher Expansion z. B. müssen die Querschnitte für eine Maschine von 10 Pferden so stark werden, als für eine Maschine von 50 Pferden ohne Expansion. Schon dies ist ein Hauptmotiv, daß man zu starke Expansionsgrade vermeiden muß. Der Grund ergiebt sich aus Folgendem: Die mittlere Leistung einer jeden Dampfmaschine ist zu beurtheilen nach dem mittleren Werthe des nützlichen Druckes, mit welchem der Kolben vorwärts geschoben wird; die Construction der Maschinentheile richtet sich aber nach dem Maximum des gesammten Druckes, weil die Querschnitte diesen Maximaldruck zu ertragen und fortzupflanzen haben. Der Maximaldruck ist bei jeder Maschine vorhanden, sobald sie mit vollem Dampf der höchsten Spannung arbeitet und noch nicht expandirt. Die anfängliche Dampfspannung wird stets viel höher sein, als der mittlere Druck. Expandirt z. B. eine Maschine 10fach, so sind die Dampfspannungen variabel zwischen den Grenzen von 10 bis 1 Atmosphäre, die Stärke der Maschinentheile muß folglich für 10 Atmosphären Vollbruck berechnet werden, während der mittlere Werth des nützlichen Druckes nur 5 Atmosphären beträgt. Diese von Redtenbacher ausgesprochene Regel ist bei der Anordnung der Transmissionen für stark expandirende Maschinen wohl zu beachten.

§. 56. Auf Grund dieser Untersuchungen, welche zum großen Theil zuerst von Redtenbacher in geeigneter Form angestellt und in seinen „Resultaten" rationell durchgeführt und niedergelegt sind, entstand die Methode der Verhältnißzahlen, deren hauptsächlichste Ergebnisse wir nach Redtenbacher's „Resultaten" (Cap. IX. S. 212 bis 229) in den folgenden Tabellen wiedergeben. Die Werthe, welche in denselben zusammengestellt sind, geben alle wesentlichen Daten und Dimensionen für neu zu erbauende Maschinen. Die Tabellen XIII. bis XVI.

enthalten die Hauptdaten für die Construction der 4 Hauptsysteme von Dampfmaschinen bis zu 140 Pferdekräften. Nämlich: Durchmesser des Dampfcylinders, Länge des Kolbenschubes, Geschwindigkeit des Kolbens, Anzahl der Umdrehungen der Kurbelwelle per Minute, Dampfverbrauch, Heizfläche des Kessels per Pferdekraft und Kohlenverbrauch für die normale Dampfspannung. Diese Resultate sind vermittelst der im Cap. VII. entwickelten Formeln berechnet worden.

Tabelle XVII. giebt für die 4 Hauptarten von Maschinen die Dimensionen der wesentlichsten Bestandtheile, durch den Durchmesser des Dampfcylinders ausgedrückt *). Diese Bestimmungsart für die Dimensionen beruht auf dem Grundgesetz von Watt und Redtenbacher, daß Maschinen der gleichen Art geometrisch ähnlich gebaut werden sollen, vorausgesetzt, daß die Dampfspannung bei allen Maschinen der gleichen Art einerlei Werth hat. Die nominalen Pferdekräfte entsprechen immer den Dampfspannungen und Kolbengeschwindigkeiten, welche in den Tabellen XIII. bis XVI. enthalten sind.

Tabelle XVIII. und XIX. giebt endlich die Preise für Dampfmaschinen und die Gewichte und Preise für die Kessel an, wie man sie als mittlere Werthe unter den gegenwärtigen Verhältnissen ungefähr feststellen kann. Die Preise sind per Pferdekraft in französischen Francs gestellt.

Eine Vergleichung der einzelnen Columnen in den Tabellen XIII. bis XVI., so wie der Tabellen unter sich, führt zu interessanten Ergebnissen, auf die wir hier nur hindeuten wollen. Man sieht u. A., wie schnell der Kohlenverbrauch per Pferdekraft und Stunde bei den Niederdruckmaschinen mit der Zunahme an Pferdekräften fällt, so daß zwischen den Grenzen von 1 bis 16 Pferden der Kohlenconsum von 13 auf 5 Klgr. fällt, während er von 45 bis 140 Pferde beinahe constant auf $4^{1}/_{2}$ Klgr. bleibt. Sogar Hochdruckmaschinen ohne Expansion geben bessere Resultate und erreichen ein Minimum von 4 Klgr. Kohle per Pferd und Stunde, weil das Verhältniß zwischen Hinterdruck und Vorderdruck ein günstigeres ist. Hochdruck mit Expansion liefert natürlich noch bessere Resultate, wird aber durch Mitteldrucksystem mit Expansion und Condensation übertroffen, das für den Kohlenconsum außerordentlich günstig ist, da derselbe von 6 bis 140 Pferden nur zwischen 3,3 und 2,2 Klgr. schwankt.

Man sieht ferner, daß die Niederdruckmaschinen am langsamsten, die Hochdruckmaschinen am schnellsten laufen, während die beiden Expansionsmaschinen, sich ziemlich gleich bleibend, in der Mitte liegen. Die Durchmesser der Dampfcylinder für Niederdruck betragen, ziemlich genau, das Doppelte der Cylinderdurchmesser für Hochdruck ohne Expansion. Die Kesselheizfläche für Mitteldruck mit Expansion und Condensation ist auffallend gering, und beträgt ungefähr nur die Hälfte von der Heizfläche für Niederdruckmaschinen; u. s. f.

*) Der Zweck eines physikalischen Wörterbuches würde überschritten werden, wenn wir auf das constructive Detail näher eingehen wollten. Es sind daher aus den Redtenbacher'schen Resultaten nur diejenigen ausgewählt worden, welche die allgemeineren Verhältnisse betreffen. Das rein Constructive, als: Stärke der meisten Zapfen, das Detail des Balanciers, der Schubstangen, Wellen 2c. wurde hier weggelassen. Wir verweisen deshalb auf Redtenbacher's Werk. Anmerk. d. Verf.

Tabelle XIII.

Watt'sche Niederdruckmaschinen, Dampfspannung im Cylinder = 8330 Klgr.

Pferdekraft der Maschine	Durchmesser des Dampfcylinders in Centimetern	Verhältniß zwischen Kolbenschub und Durchmesser	Geschwindigkeit des Kolbens per Secunde in Metern	Anzahl der Umdrehungen der Kurbelwelle per Minute	Querschnitt des Cylinders per 1 Pferd in Quadratcentim.	Dampfmenge in Kilogr. per 1 Pferd und per Secunde	Heizfläche des Kessels per 1 Pferd in Quadratmetern	Steinkohlen per 1 Pferdekraft und Stunde in Kilogr.
1	14,5	2,70	0,89	68,2	200	1 : 40	3,5	13,0
2	22,0	2,60	0,90	47,2	190	1 : 54	2,7	9,0
3	26,0	2,54	0,92	41,8	180	1 : 64	2,34	8,1
4	30,0	2,50	0,95	38,0	176	1 : 70	2,14	7,4
6	36,8	2,45	0,98	32,6	176	1 : 82	1,83	6,3
8	41,8	2,40	1,00	30,0	171	1 : 94	1,59	5,5
10	45,9	2,38	1,03	28,3	166	1 : 97	1,55	5,3
12	49,3	2,35	1,05	27,2	158	1 : 100	1,51	5,2
14	52,5	2,34	1,06	25,9	154	1 : 102	1,49	5,1
16	55,0	2,32	1,08	25,4	148	1 : 103	1,47	5,0
18	57,8	2,30	1,10	24,8	146	1 : 104	1,45	5,0
20	60,0	2,30	1,11	24,1	144	1 : 105	1,43	4,9
24	65,0	2,25	1,14	23,4	141	1 : 106	1,42	4,9
28	69,4	2,25	1,16	22,2	137	1 : 107	1,40	4,8
32	73,8	2,20	1,19	22,0	132	1 : 108	1,39	4,8
36	78,0	2,18	1,20	21,2	131	1 : 109	1,38	4,7
40	81,5	2,14	1,22	21,0	130	1 : 110	1,37	4,7
45	85,5	2,10	1,23	20,6	129	1 : 111	1,36	4,6
50	90,0	2,05	1,25	20,3	127	1 : 111	1,35	4,6
55	93,2	2,05	1,27	20,0	124	1 : 112	1,34	4,6
60	96,8	2,00	1,29	20,0	123	1 : 112	1,33	4,6
65	100,0	2,00	1,30	19,5	120	1 : 113	1,33	4,6
70	103,3	2,00	1,31	19,0	119	1 : 113	1,33	4,6
75	106,2	2,00	1,32	18,6	118	1 : 113	1,32	4,6
80	109,0	2,00	1,33	18,3	117	1 : 113	1,32	4,6
85	112,0	2,00	1,34	17,9	116	1 : 113	1,32	4,6
90	114,5	2,00	1,36	17,8	115	1 : 114	1,32	4,5
95	117,0	2,00	1,37	17,6	114	1 : 114	1,31	4,5
100	120,0	2,00	1,38	17,3	113	1 : 114	1,31	4,5
110	125,0	2,00	1,39	17,0	113	1 : 114	1,31	4,5
120	129,4	2,00	1,41	16,7	112	1 : 115	1,31	4,5
130	133,5	2,00	1,43	16,3	112	1 : 115	1,30	4,5
140	137,8	2,00	1,45	15,8	111	1 : 115	1,30	4,5

Tabelle XIV.

Mitteldruck-Maschinen mit Expansion und Condensation.

Dreifache Expansion. Dampfspannung im Cylinder = 18643 Klgr.

Pferdekraft der Maschine	Durchmesser des Dampfcylinders in Centimetern	Verhältniß zwischen Kolbenschub und Durchmesser	Geschwindigkeit des Kolbens per Secunde in Metern	Anzahl der Umdrehungen der Kurbelwelle per Minute	Querschnitt des Cylinders per 1 Pferd in Quadratcentim.	Dampfmenge in Kilogr. per 1 Pferd und per Secunde	Heizfläche des Kessels per 1 Pferd in Quadratmetern	Steinkohlen per 1 Pferdekraft und Stunde in Kilogr.
6	29,1	2,52	1,12	45,8	111	1 : 154	1,000	3,37
8	32,4	2,49	1,15	42,7	102	1 : 166	0,904	3,13
10	35,1	2,48	1,19	41,2	96	1 : 173	0,867	3,00
12	37,3	2,47	1,21	39,2	91	1 : 181	0,827	2,87
14	39,3	2,42	1,23	38,8	86	1 : 190	0,789	2,74
16	41,1	2,41	1,25	37,8	83	1 : 195	0,769	2,66
18	43,0	2,40	1,28	37,2	80	1 : 200	0,750	2,60
20	45,0	2,39	1,31	36,4	79	1 : 200	0,750	2,60
24	48,0	2,38	1,34	35,2	76	1 : 203	0,739	2,56
28	51,3	2,36	1,37	33,9	75	1 : 204	0,735	2,55
32	54,1	2,34	1,43	33,7	71	1 : 209	0,718	2,48
36	56,7	2,32	1,46	33,3	70	1 : 209	0,718	2,48
40	59,3	2,30	1,49	32,8	67	1 : 213	0,704	2,44
45	61,6	2,28	1,50	32,0	66	1 : 216	0,694	2,40
50	64,3	2,26	1,50	31,0	65	1 : 220	0,682	2,36
55	67,2	2,24	1,50	30,0	65	1 : 221	0,679	2,35
60	70,0	2,21	1,50	29,2	65	1 : 222	0,675	2,34
65	73,0	2,20	1,50	28,0	65	1 : 223	0,672	2,33
70	75,4	2,19	1,50	26,9	65	1 : 224	0,669	2,32
75	78,2	2,17	1,50	26,5	64	1 : 226	0,663	2,30
80	80,1	2,16	1,50	26,0	64	1 : 228	0,658	2,28
85	83,0	2,14	1,50	25,3	64	1 : 229	0,654	2,27
90	85,2	2,13	1,50	24,8	64	1 : 230	0,652	2,26
95	87,7	2,10	1,50	24,4	63	1 : 232	0,647	2,24
100	90,0	2,09	1,50	23,9	63	1 : 233	0,643	2,23
110	94,5	2,04	1,50	23,3	63	1 : 233	0,643	2,23
120	98,9	2,00	1,50	22,7	63	1 : 234	0,641	2,22
130	102,5	1,97	1,50	22,3	63	1 : 234	0,641	2,22
140	106,2	1,94	1,50	21,8	63	1 : 235	0,640	2,21

Tabelle XV.

Hochdruck-Maschinen ohne Expansion.
Dampfspannung im Cylinder = 35000 Kilogr.

Pferdekraft der Maschine	Durchmesser des Dampfcylinders in Centimetern	Verhältniß zwischen Kolbenschub und Durchmesser	Geschwindigkeit des Kolbens per Secunde in Metern	Anzahl der Umdrehungen der Kurbelwelle per Minute	Querschnitt des Cylinders per 1 Pferd in Quadratcentim.	Dampfmenge in Kilogr. per 1 Pferd und per Secunde	Heizfläche des Kessels per 1 Pferd in Quadratmetern	Steinkohlen per 1 Pferdekraft und Stunde in Kilogr.
2	11,7	2,68	0,707	67,8	54	1 : 73	2,05	7,10
3	13,5	2,66	0,760	63,5	48	1 : 81	1,85	6,42
4	15,1	2,64	0,810	60,9	44	1 : 87	1,72	5,98
6	18,0	2,62	0,891	56,7	42	1 : 92	1,63	5,65
8	20,0	2,61	0,930	53,4	39	1 : 96	1,56	5,41
10	22,0	2,59	0,965	50,8	38	1 : 100	1,50	5,40
12	23,7	2,56	1,002	50,0	37	1 : 104	1,44	5,00
14	25,3	2,55	1,024	47,5	36	1 : 106	1,42	4,90
16	26,7	2,54	1,046	46,3	35	1 : 108	1,39	4,80
18	28,0	2,52	1,069	45,4	34	1 : 110	1,36	4,73
20	29,2	2,51	1,100	45,0	33	1 : 112	1,33	4,64
24	31,5	2,50	1,132	43,1	32	1 : 115	1,31	4,56
28	33,5	2,48	1,161	41,9	31	1 : 116	1,29	4,51
32	35,2	2,47	1,190	41,0	30	1 : 117	1,28	4,45
36	37,0	2,45	1,208	40,0	30	1 : 118	1,27	4,41
40	38,6	2,44	1,226	39,1	29	1 : 119	1,26	4,35
45	40,5	2,43	1,267	38,6	29	1 : 120	1,25	4,32
50	42,5	2,41	1,289	37,8	28	1 : 121	1,24	4,29
55	44,0	2,40	1,332	37,0	28	1 : 122	1,23	4,27
60	46,0	2,38	1,310	35,9	28	1 : 122	1,21	4,25
65	47,3	2,37	1,320	35,2	27	1 : 123	1,20	4,23
70	48,8	2,36	1,340	35,2	27	1 : 123	1,20	4,21
75	50,2	2,36	1,370	34,7	26	1 : 124	1,20	4,20
80	51,8	2,35	1,385	34,1	26	1 : 124	1,19	4,18
85	53,2	2,33	1,400	33,8	26	1 : 125	1,18	4,16
90	54,3	2,32	1,415	33,7	26	1 : 126	1,17	4,13
95	55,6	2,32	1,431	33,3	26	1 : 128	1,16	4,09
100	56,8	2,31	1,449	33,1	25	1 : 129	1,16	4,06
110	58,3	2,30	1,467	32,8	24	1 : 130	1,16	4,03
120	60,0	2,29	1,487	32,5	24	1 : 130	1,15	4,00
130	61,7	2,28	1,505	32,1	23	1 : 130	1,15	4,00
140	63,2	2,27	1,523	31,9	23	1 : 130	1,15	4,00

Nach vollendetem Druck der vorhergehenden Bogen gelangte Redtenbacher's neuestes Werk in die Hände des Verfassers, leider zu spät, um sich noch darauf beziehen zu können.

Diese neue verdienstliche Arbeit Redtenbacher's umfaßt den ersten, einleitenden Cursus seiner Vorträge an der polyt. Schule zu Carlsruhe, mit dem Titel: „Principien der Mechanik und des Maschinenbaues von F. Redtenbacher“ (Mannheim 1852). Obgleich die Theorie der Dampfmaschine nicht darin enthalten ist, so wird doch öfter darauf hingewiesen, namentlich sind folgende Abschnitte als Ergänzung und Commentar zu vorliegendem Artikel anzuführen:

Tabelle XVI.

Hochdruck-Maschinen mit Expansion.

Dreifache Expansion. Dampfspannung im Cylinder = 35000 Kilogr.

Pferdekraft der Maschine	Durchmesser des Dampfcylinders in Centimetern	Verhältniß zwischen Kolbenschub und Durchmesser	Geschwindigkeit des Kolbens per Secunde in Metern	Anzahl der Umdrehungen der Kurbelwelle per Minute	Querschnitt des Cylinders per 1 Pferd in Quadratcentim.	Dampfmenge in Kilogr. per 1 Pferd und per Secunde	Heizfläche des Kessels per 1 Pferd in Quadratmetern	Steinkohlen per 1 Pferdekraft und Stunde in Kilogr.
1	12,8	2,68	0,730	65,8	135	1 : 87	1,72	5,9
2	16,7	2,63	0,850	58,1	110	1 : 100	1,50	4,9
3	19,2	2,61	0,891	53,3	99	1 : 114	1,31	4,6
4	21,7	2,58	0,940	50,4	93	1 : 120	1,23	4,3
6	25,1	2,57	1,000	46,5	82	1 : 127	1,15	4,1
8	28,2	2,55	1,069	44,5	78	1 : 135	1,11	3,9
10	30,7	2,50	1,099	42,9	72	1 : 139	1,07	3,7
12	32,8	2,48	1,130	41,7	70	1 : 144	1,04	3,6
14	34,7	2,47	1,160	40,6	68	1 : 147	1,02	3,5
16	36,6	2,44	1,190	40,0	66	1 : 149	1,00	3,5
18	38,3	2,43	1,217	39,2	64	1 : 151	0,99	3,4
20	40,0	2,42	1,245	38,5	63	1 : 153	0,98	3,4
24	42,8	2,40	1,278	37,3	61	1 : 156	0,97	3,3
28	45,0	2,39	1,310	36,5	59	1 : 160	0,96	3,3
32	47,7	2,37	1,341	35,6	57	1 : 161	0,95	3,3
36	50,0	2,34	1,372	35,1	55	1 : 162	0,94	3,2
40	52,6	2,33	1,401	34,3	54	1 : 163	0,93	3,2
45	55,3	2,31	1,431	33,6	53	1 : 165	0,92	3,2
50	58,0	2,30	1,459	32,8	52	1 : 167	0,91	3,1
55	60,2	2,29	1,487	32,4	50	1 : 168	0,90	3,1
60	62,8	2,27	1,493	31,4	50	1 : 169	0,89	3,1
65	64,7	2,25	1,500	30,9	49	1 : 170	0,88	3,1
70	67,0	2,22	1,500	30,2	49	1 : 170	0,88	3,0
75	69,3	2,21	1,500	29,3	49	1 : 171	0,88	3,0
80	71,5	2,20	1,500	28,6	49	1 : 171	0,87	3,0
85	73,6	2,19	1,500	27,9	49	1 : 172	0,87	3,0
90	75,7	2,17	1,500	27,4	49	1 : 172	0,87	3,0
95	77,6	2,16	1,500	26,9	49	1 : 173	0,87	3,0
100	79,5	2,15	1,500	26,3	49	1 : 173	0,86	3,0
110	82,8	2,13	1,500	25,5	49	1 : 174	0,86	3,0
120	86,2	2,10	1,500	24,8	49	1 : 175	0,86	3,0
130	89,3	2,09	1,500	24,1	49	1 : 176	0,85	3,0
140	92,8	2,08	1,500	23,3	49	1 : 177	0,85	3,0

Im II. Theil, Principien des Maschinenbaues, siehe die §§: 5 u. 6 von den Motoren; §. 16 bis 21 Maschinen mit periodischem Beharrungszustand; §. 30 bis 32 Effectverluste; §. 33 bis 38 Analytische Theorie der Maschinen; §. 46 u. 47 Methode der Verhältnißzahlen.

Anmerk. d. Verf.

Tabelle XVII.

Hauptdimensionen der Dampfmaschinen.
Nach Redtenbacher's Methode der Verhältnißzahlen.

Haupt-Dimensionen in Metern	Watt'sche Niederdruck-Maschinen $p = 8330$ k	Mitteldruck mit 3facher Expansion und Condensation $p = 18643$ k	Hochdruck ohne Expansion $p = 35000$ k	Hochdruck mit 3facher Expansion $p = 35000$ k
Durchmesser des Dampfcylinders.	$D = 0{,}11 . (1 + \sqrt{N})$	$0{,}082 . (1 + \sqrt{N})$	$0{,}045 + 0{,}0356 . \sqrt{N}$	$0{,}06 + 0{,}071 . \sqrt{N}$
Geschwindigkeit des Kolbens.	$v = 0{,}46 + 0{,}84 \sqrt{D}$	$0{,}17 (1 + 10 \sqrt{D})$	$0{,}17 (1 + 10 \sqrt{D})$	$0{,}17 (1 + 10 \sqrt{D})$
Länge des Kolbenschubes.	$l = \frac{1}{7} (19 - 5 D) D$	$(2{,}8 - D) D$	$(2{,}8 - D) D$	$(2{,}8 - D) D$
Touren der Kurbelwelle per Minute.	$n = 30 . \frac{v}{l}$	$30 . \frac{v}{l}$	$30 . \frac{v}{l}$	$30 . \frac{v}{l}$
Durchmesser des Dampfrohres.	$0{,}2 . D$	$0{,}2 . D$	$0{,}2 . D$	$0{,}2 . D$
Querschnitt der Dampfkanäle.	$\frac{1}{30} . O$	$\frac{1}{30} . O$	$\frac{1}{30} . O$	$\frac{1}{30} . O$
Durchmesser der Luftpumpe.	$\frac{2}{3} . D$	$0{,}54 . D$	—	—
Kolbenschub der Luftpumpe.	$0{,}5 . l$	$0{,}5\ l.$	—	—
Höhe und Breite der Ventilöffnungen.	$0{,}15$ D und $0{,}55$ D	$0{,}12$ D und $0{,}45 . D$	—	—
Durchmesser des Injectionsrohres.	$0{,}08$ D	$0{,}07$ D	—	—
Volumen des Kolbenschubes d. Warmwasserpumpe.	$0{,}004 \frac{D^2 . \pi}{4} . l$	—	$0{,}013 . \frac{D^2 . \pi}{4} . l$	—
Kolbenschub der Warmwasserpumpe.	$0{,}33 . l.$	$0{,}33\ l$	$0{,}33 . l$	$0{,}33 . l$
Durchmesser der Pumpe.	$0{,}107 . D$	$0{,}087$ D	$0{,}20 . D$	$0{,}12$ D
Volumen des Kolbenschubes der Kaltwasserpumpe.	$0{,}05 . \frac{D^2 . \pi}{4.} . l$	—	—	—
Kolbenschub der Kaltwasserpumpe.	$0{,}5 . l$	$0{,}5 . l.$	—	—
Durchmesser der Kaltwasserpumpe.	$0{,}316$ D.	$0{,}26 . D$	—	—
Halbmesser d. Kurbel.	$0{,}5 . l$	$0{,}5 . l$	$0{,}5 . l$	$0{,}5 . l$
Durchmesser des Kurbelzapfens	$0{,}15 . D$	$0{,}2 . D$	$0{,}23 . D$	$0{,}23 . D$
Durchmesser der Kurbelwelle.	$0{,}30 . D = 0{,}20 . \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$	$0{,}38 . D$	$0{,}47 . D$	$0{,}37$ D
Halbmesser des Schwungrades.	$3{,}5 . D$	$4{,}02 . D$	$4{,}6 . D$	$4{,}02 . D$
Höhe des Ringes.	$0{,}19 . D$	$0{,}56 . D$	$0{,}65 . D$	$0{,}562 . D$
Dicke des Ringes.	$0{,}24 . D$	$0{,}28 . D$	$0{,}32 . D$	$0{,}281 . D$
Durchmesser der Regulatorkugeln.	$0{,}3 . D$	$0{,}3 . D$	—	—
Länge eines Pendelarmes	D	D	—	—
Touren des Regulators per Minute.	$95{,}4 \sqrt{\frac{6}{D . \cos . 30^{\circ}}}$	$95{,}4 \sqrt{\frac{6}{D . \cos . 30^{\circ}}}$	—	—
Durchmesser der Kolbenstange.	$0{,}1$ D	$0{,}14$ D	$0{,}18$ D	$0{,}15$ D
Länge des Balanciers.	$3 . l$	$3 . l$	$3 . l$	$3 . l$
Höhe des Balanciers in der Mitte.	$0{,}8$ D	$1{,}03$ D	$1{,}31$ D	$1{,}31$ D
Höhe des Balanciers an den Enden.	$0{,}3$ D	$0{,}39$ D	$0{,}49$ D	$0{,}49$ D
Dicke der Hauptrippe.	$0{,}05$ D	$0{,}06$ D	$0{,}082$ D	$0{,}08$ D
Länge der Schubstange.	$3 . l$	$3 . l$	$3 . l$	$3 . l$
Höhe der Rippe in der Mitte.	$0{,}2 . l$	$0{,}2 . l$	$0{,}2 . l$	$0{,}2 . l$

Tabelle XVIII.

Größe, Gewicht und Preise der Dampfkessel von Eisenblech.

(Ohne Garnitur.)

Pferdekraft des Kessels	Totale Oberfläche des Kessels	Länge des Hauptkessels	Durchmesser des Hauptkessels	Durchmesser der Siederöhren	Anzahl der Siederöhren	Für 2 Atmosphären		Für 3 Atmosphären		Für 4 Atmosphären		Für 5 Atmosphären	
						Gewicht Kilogr.	Preis Francs	Gewicht Kilogr.	Preis Francs	Gewicht Kilogr.	Preis Francs	Gewicht Kilogr.	Preis Francs
	Quadratm.	Meter	Meter	Meter									
1	4,5	2,4	0,60	—	—	225	270	260	312	295	354	325	400
2	5,6	2,7	0,66	—	—	350	420	400	480	450	540	500	600
4	11,6	3,0	0,69	0,27	2	575	690	660	792	740	888	802	1000
6	15,9	3,6	0,75	0,33	2	925	1110	1060	1272	1195	1434	1325	1600
8	19,8	4,2	0,78	0,36	2	1340	1608	1530	1836	1725	2070	1915	2300
10	22,1	4,5	0,84	0,36	2	1750	2100	2000	2400	2250	2700	2500	3000
12	24,7	4,8	0,90	0,36	2	2100	2520	2400	2880	2700	3240	3000	3600
16	29,7	5,1	0,99	0,39	2	2450	2940	2800	3360	3150	3780	3500	4200
20	32,8	5,7	1,05	0,39	2	2915	3498	3430	4116	3850	4620	4165	5000
25	45,1	6,3	1,11	0,39	3	3100	3720	3550	4260	4000	4800	4415	5300
30	51,6	6,9	1,17	0,45	3	3500	4200	4000	4800	4500	5400	5085	6100
35	60,8	7,5	1,23	0,45	3	4235	5082	4850	5820	5500	6600	6060	7272
40	69,5	8,1	1,29	0,48	3	5000	6000	5700	6840	6450	7740	7165	8600
45	78,9	9,0	1,35	0,48	3	6000	7200	6800	8160	7540	9048	8335	10000
50	97,0	10,5	1,41	0,51	3	6900	8280	7700	9240	8600	10320	9415	11300

Tabelle XIX.

Preise der Landmaschinen für Werkstätten und Fabriken.

Bezeichnung des Systemes	Preise der Maschinen in Francs per 1 Pferdekraft, bei Maschinen von folgenden Pferdekräften												
	2	4	6	8	10	12	16	20	30	40	50	60	100
1) Hochdruckmaschinen ohne Expansion, ohne Condensation und ohne Balancier	1824	1324	1137	1074	1024	990	949	924	891	874	864	857	844
2) Hochdruckmaschinen mit Expansion, ohne Condensation und ohne Balancier	2340	1591	1341	1200	1140	1090	1029	990	940	916	900	890	870
3) Mitteldruckmaschinen mit Expansion, mit Condensation und mit Balancier	—	—	—	—	—	1600	1413	1308	1158	1083	1038	1008	948
4) Woolf'sche Mitteldruckmaschinen mit 2 Cylindern, Expansion, Condensation u. Balancier	—	—	—	—	—	1915	1655	1500	1291	1187	1125	1083	1000

IX.

Geschichte der Erfindung und Anwendung der Dampfmaschine.

§. 57. Ueber die Ehre der Erfindung der Dampfmaschine haben die Engländer und Franzosen mit einer Heftigkeit und Bitterkeit gestritten, die, wie Lardner *) bemerkt, „einer so edlen Sache ganz unwürdig und durchaus unter der Würde der Wissenschaft ist." Das Signal zu einem allgemeinen Kampfe gab Arago **), der im Jahre 1829 eine durchaus polemisch gehaltene Abhandlung über die Erfindung der Dampfmaschine veröffentlichte und gegen eine ganze Reihe von englischen Schriftstellern, unter denen wir Partington ***), Robison ****), Rees *****), Bourne †), Young ††), Lardner †††), Millington ††††), Aigner †††††) und Tredgold *†) hervorheben, behauptete, daß dieselben nur ihre Landsleute Worcester, Savary oder Newcomen als Erfinder der Dampfmaschine nennen, während doch den Franzosen de Caus und Papin die Ehre der Erfindung gebühre. Das Eigenthümliche bei diesem Streite ist, daß, selbst wenn man als bereits entschieden annehmen wollte, welche Nation die Dampfmaschine erfunden habe, man über die Person des Erfinders selbst nicht einig ist, da in England die drei, in Frankreich die 2 eben erwähnten Männer abwechselnd als Erfinder angeführt werden. Wir haben bereits unsere Ansicht über diesen Gegenstand angedeutet **†), und fassen sie im Folgenden kurz zusammen.

Es kommt lediglich darauf an, ob man die Erkennung und Benutzung der allgemeinen physikalischen Eigenschaften des Dampfes, oder die specielle praktische Anwendung der vorzüglichsten motorischen Kraft durch geeignete mechanische Vorrichtungen, als Hauptmoment in der Erfindung der Dampfmaschine betrachtet. Wollte man das Verdienst der Erfindung denjenigen zuschreiben, welche die physikalischen Eigenschaften überhaupt entdeckten oder einmal anwendeten, so wäre immer noch zu bestimmen übrig, welche physikalische Eigenschaft den Vorzug verdiene, da nicht jede einen gleichen Werth hinsichtlich der praktischen Verwendung hat. Aus

---

*) The steam engine, familiarly explained and illustrated. London 1836. — Deutsch, nach der 5. Auflage. Leipzig 1836. §. 22.

**) Annuaire du bureau des longitudes, pour 1829. — Uebersetzt von Remy, in den „Unterhaltungen aus dem Gebiete der Naturkunde." Bd. I. Stuttgart 1837.

***) Historical and descriptive account of the steam engine. London 1822.

****) System of mechanical philosophy. Vol. II.

*****) Rees, Cyclopedie, Art. Steam engine.

†) Treatise on the steam engine.

††) Lectures on Natural Philosophy. Vol. I.

†††) Lectures on the steam engine.

††††) Epitome of Nat. Phil. 1823. Vol. I.

†††††) Quarterly Journ. of Sc. New Ser. N. X. p. 322.

*†) A treatise on the steam engine. London, Weale.

**†) Siehe die Artikel Dampfgeschütz S. 202. — Dampfkugel S. 236. — Dampfmaschine Cap. I. §. 5, §. 6, §. 7, §. 9, §. 11. Cap. VIII. §. 53, im physikalischen Lexicon, Bd. II., vom Verfasser bearbeitet.

unserer Betrachtung in Cap. I. geht hervor, daß nicht weniger als 7 Wirkungsarten des Dampfes angewendet werden könnten, um als motorische Kraft auf einen Receptor zu wirken. Doch wurden sogleich 4 derselben als minder wesentlich wieder ausgeschieden. Bei der Bestimmung der Priorität der Erfindung der Dampfmaschine kann es aber darauf allein nicht ankommen. Es handelt sich dabei, wie der Name sagt, um eine Maschine, und zwar, nach unserer Definition (S. 240), um eine „mechanische Vorrichtung, die physikalischen Eigenschaften des Dampfes praktisch nutzbar zu machen.“ Nun wissen wir aber aus Cap. I., daß wiederum nicht alle mechanischen Vorrichtungen von gleichem Werthe sind, und daß nur einige derselben als wirkliche Kraftmaschinen erkannt und festgehalten wurden. Wir beschränkten daher gleich anfänglich (S. 240) unsere Definition dahin, daß wir mit dem Namen einer Dampfmaschine nur diejenigen Maschinen bezeichneten, welche „durch den Wasserdampf in eine regelmäßige, continuirliche oder periodisch wiederkehrende Thätigkeit versetzt werden, um mechanische Veränderungen im weitesten Sinne hervorbringen zu können.“ Dadurch sind erstens alle die Maschinen ausgeschlossen, welche nur zur Benutzung irgend einer speciellen mechanischen Arbeit (namentlich zum Wasserheben) dienen können; ferner alle die Maschinen und Vorrichtungen, welche erfahrungsmäßig nicht als Kraftmaschinen, sondern nur als Bewegungsmechanismen anzuwenden sind.

Erfinder der Dampfmaschine kann folglich nur der mit Recht genannt werden, welcher eine mechanische Vorrichtung erfand, wodurch die praktisch wichtigste Wirkungsart des Dampfes allgemein und dauernd nutzbar gemacht wurde; welcher folglich der Dampfmaschine jene Form und Eigenschaften ertheilte, die sie in der Hauptsache noch besitzt und denen sie ihren gegenwärtigen, universellen Nutzen verdankt. Allerdings ist die Dampfmaschine, wie wir sie jetzt benutzen, nicht die alleinige Erfindung eines Einzelnen, sondern das Resultat einer ganzen Reihe von Erfindungen, Entdeckungen und Verbesserungen. Gehen wir aber auf die Grundprincipien zurück und legen unsere Definition als Maßstab an die Erfindungen, so ergiebt sich sogleich, daß Denis Papin der Erfinder der Dampfmaschine, James Watt aber der Vollender derselben ist. Was in den Zeiten vor Papin erfunden wurde, ist nach unserer Definition ebenso unwesentlich, als die Erfindungen nach Watt mit denen dieses großen Genie's nicht in gleichen Rang zu stellen sind. Daß Denis Papin der Erfinder sei, ist dadurch bewiesen, daß er zuerst die Spannung des Dampfes, d. h. seinen Ueberdruck über den atmosphärischen Druck als motorisches Princip anwendete (siehe S. 255 bis 258) und daß er der Erfinder des Kolbens, als desjenigen mechanischen Receptors ist, welchem die Dampfmaschine ihre dauernde, praktisch-nützlichste und noch jetzt bestehende Form verdankt (siehe S. 250 und 256). Papin's Verdiensten lassen selbst mehrere englische Schriftsteller, namentlich Robert Stuart*), Galloway**), Faray***) u. A. Gerechtigkeit wieder-

*) A descriptive history of the steam engine. London 1824. — Im Französischen: Histoire de la machine à feu.

**) Galloway, History of the steam engine. London 1824.

***) A Treatise on the steam engine. London 1828.

fahren. Arago *) war aber vor Allen bemüht, bis auf die neueste Zeit **) sämmtliche Notizen über Papin's Versuche zu sammeln, um diesem die Ehre der Erfindung zu sichern. Daß Arago damit bemüht ist, den Deutschen, und nicht den Franzosen das Hauptverdienst zuzutheilen ***), lag wohl weniger in seiner Absicht, geht aber aus der Lebensgeschichte Papin's und aus dem Schauplatz hervor, auf welchem er seine Erfindungen machte und veröffentlichte ****).

Die Versuche zur Benutzung des Dampfes vor Papin umfassen einen Zeitraum von mehreren Jahrhunderten, ohne daß die Erfindung der Dampfmaschine dadurch gefördert wurde. Sie beschränken sich auf die Benutzung der geringen Kraft, welche der Dampf durch Reaction oder Stoß ausübt. Nur Salomon de Caus benutzte zuerst den Dampfdruck, um Wasser zum Steigen zu bringen, was mehrere Schriftsteller, und unter ihnen Arago, veranlaßte, de Caus als Erfinder der Dampfmaschine zu nennen. Wir können, auf Grund unserer Entwickelung, dieser Ansicht nicht beistimmen. Alle diese früheren Versuche waren theils nur Pläne und Vorschläge, die auf dem Papier gemacht wurden, theils beschränkten sie sich auf Modelle. So wenig man aber die Physiker, welche durch die Reaction des aus der Aeolipile strömenden Dampfes kleine Wagenmodelle in Bewegung setzten, als Erfinder der Locomotive betrachten wird, ebenso wenig waren diese früheren Versuche entscheidend für die Erfindung der Dampfmaschine. Daß dieselben aber anregend waren und daß durch deren Aufzeichnung den späteren Forschern Winke gegeben wurden, wodurch es endlich Papin gelang, eine Maschine zu erfinden, die im großen Maßstabe für mechanische Zwecke praktisch anwendbar wurde, kann wohl nicht geläugnet werden. Es ist daher gerecht, an jene Bemühungen zu erinnern, und sie namentlich, wenn auch nicht descriptiv (wozu uns der Raum gebricht), aufzuführen. Indem wir im Folgenden einen kurzen Abriß der Geschichte der Dampfmaschine geben, und dabei auf die bereits angeführten Werke, theils auf die noch anzuziehenden Quellen verweisen müssen, versuchen wir zugleich eine Eintheilung der Geschichte in Perioden mit chronologischer Folge der hauptsächlichsten Erfindungen.

*) Annuaire pour 1829. — Unterhaltungen aus dem Gebiet der Naturkunde, übers. von Remy 1837. Bd. I. S. 20

**) Siehe in: Augsb. Allgem. Zeitung für 1852. Nr. 98 eine Mittheilung Arago's an die Pariser Akademie.

***) Siehe Cap. I. §. 6. S. 255.

****) Papin war zwar, nach seinem Geburtsort Blois, ein geborner Franzose und hatte in Paris Medicin studirt. Er wurde aber, als Protestant, durch Widerrufung des Edicts von Nantes aus Frankreich vertrieben und dadurch verlor sein Geburtsland alle Rechte an ihn. Erst im Ausland bildete er sich in den mathematischen und physikalischen Wissenschaften aus. In England wurde er mit Boyle bekannt und 1681 Mitglied d. k. Gesellschaft. Er kam mit dem damaligen Landgrafen Carl von Hessen-Kassel in Berührung, der bekanntlich ein großer Liebhaber und Beförderer der mechanischen und physikalischen Wissenschaften war. Durch dessen Rath und Unterstützung wurde Papin erst der Mann, der, zuerst in Heidelberg, später als Professor der Mathematik in Marburg, sich die Achtung der gelehrten Welt und das Verdienst erwarb, durch Erfindung der Dampfmaschine die Grundlage zur jetzigen Entwickelung der Technik gelegt zu haben. In Deutschland ward Papin gebildet und unterstützt, hier lebte, wirkte und starb er 1710 — folglich hat Deutschland ein volles Recht, ihn den seinigen zu nennen. (Siehe u. A. die Abhandlung von Hofrath Tabor in dem Jahrbuch des physikalischen Vereines zu Frankfurt. 1831. S. 121.)
Anmerk. d. Verf.

§. 58. Erste Periode. Die ersten Anfänge der Benutzung des Dampfes bis zur Erfindung der Kolbendampfmaschine. Von Heron von Alexandrien bis Papin, oder von 120 v. Chr.*) bis 1690 n. Chr.

120 v. Chr. Heron von Alexandrien. Erfindung der Aeolipile **). Benutzung derselben zu ihrer eigenen Bewegung durch Reaction ***) des ausströmenden Dampfstrahles ****).

1543 n. Chr. Blasco de Garay, spanischer Schiffskapitain, machte am 17. Juni 1543 vor Carl V. im Hafen zu Barcelona Versuche mit einem Boote, in welchem sich ein Kessel mit siedendem Wasser befand und das durch Räder an der Außenseite des Bootes in Bewegung gesetzt wurde *****). Näheres ist nicht bekannt, da Garay die Vorrichtung geheim hielt †). Der Schatzmeister Rovago hintertrieb die weitere Anwendung, indem er vorgab, daß die Maschine zu kostspielig und verwickelt und der Gefahr des Zerspringens des Kessels ausgesetzt sei. Arago widerlegt die Folgerung, als sei Garay der Erfinder des Dampfbootes und vermuthet, daß Garay eine verbesserte Aeolipile nach Heron zur Bewegung anwendete ††).

1562. Eine dunkle Andeutung von Matthesius †††) über eine Feuermaschine, „womit man jetzt auch Wasser durch Feuer heben soll." Ohne historisches Gewicht.

1570. Der Italiener Scappi empfiehlt ††††) den ausströmenden Dampf, — also abermals die Aeolipile — zum Drehen der Bratspieße.

1605. Florence Rivault bemerkt †††††), daß Kugeln, mit Wasser gefüllt, krachend bersten, wenn man bei ihrer Erhitzung das Entweichen der Dämpfe hindere *†).

1615. Salomon de Caus, von Arago u. A. als Erfinder der Dampfmaschine bezeichnet. Er veröffentlichte ein Werk **†), in welchem er zunächst die von Rivault gemachte Beobachtung über die Explosion der Dampf-

---

*) Niemand hat eifriger, als Montgéry, Embryonen von Dampfmaschinen schon bei den Alten auffinden wollen. Seine Citate gehen bis zu den Aegyptern zurück. (Montgéry, Traité historique.) Siehe auch Polyt. Journal. Bd. LXXVIII. S. 77.

**) Siehe d. Art. Dampfkugel, S. 236 vom Verfasser.

***) Siehe d. Art. Dampfmaschine, Cap. 1. S. 242 und 246.

****) Heronis Alex. Spiritualium liber. Amst. 1680. 4. p. 66, 88.

*****) Nach Documenten in dem königlichen Archive von Simancas vom Jahre 1543, durch den Archivar Thomas Gonzalez dem de Navarette mitgetheilt und veröffentlicht in v. Zach's monatlicher astr. Correspondenz vom Jahre 1826.

†) Bulletin univers. N. IV. p. 382.

††) Annuaire pour 1829.

†††) Bergpostille oder Sarepta von Matthesius. Nürnberg 1562.

††††) Opera di Bartolomeo Scappi, Venetia 1570. Dieselbe Maschine ist beschrieben in einem 1597 zu Leipzig gedruckten Buche, nach Stuart, History, p. 4.

†††††) Éléments d'artillerie, Paris 1605. p. 128.

*†) Siehe Montgéry und Arago a. a. O. und den Artikel Dampfgeschütz, S. 202.

**†) Les Raisons des forces mouvantes avec divers desseins de Fontaines. Frankfurt 1615. — Paris 1624. fol. — Isaac de Caus, New Invention of Water Works. London 1704.

kugeln bestätigt *), und sodann eine Vorrichtung beschreibt, „das Wasser mit Hülfe des Feuers über seinen natürlichen Stand steigen" zu lassen **). Er beschreibt einen Heronsball, der, mit Wasser gefüllt und über Feuer gebracht, das in ihm enthaltene Wasser vermöge des Dampfdruckes zu der, bis ziemlich auf den Boden des Kessels reichenden Röhre heraustreibt. Lardner behauptet ***), die Wirkung sei durch die eingeschlossene Luft allein hervorgebracht worden, doch erwähnt de Caus an einer anderen Stelle ****) die Stärke der Wirkung des ausströmenden Dampfes. Ainger *****) spricht, im Gegensatz zu Arago, de Caus jedes Verdienst ab, indem er sich zu zeigen bemüht, daß de Caus blos Heron's Apparat beschrieben und gar nicht als seine Erfindung angegeben habe. Auch wir können, selbst wenn de Caus den Heronsball nicht gekannt haben sollte, de Caus nicht als Erfinder der Dampfmaschine anerkennen †). Uebrigens ist sein Apparat niemals im Großen ausgeführt worden.

1629. G. Branca, ein Italiener, beschreibt ††) eine Dampfkugel über Kohlenfeuer, deren, aus einer gebogenen Röhre ausströmender Dampf die Flügel oder Schaufeln eines kleinen Rades trifft und dasselbe in Bewegung setzt. Es ist zweifelhaft, ob diese, an sich schon unbedeutende Erfindung, von Branca selbst ist †††).

1663. Eduard Sommerset, Marquis von Worcester veröffentlicht ein Werk unter der Regierung Karl's II. ††††), das eine Stelle enthält †††††), auf welche die Engländer ihre Ansprüche gründen, ihn als ersten und wahrhaften Erfinder der Dampfmaschine anzusehen. Er beschreibt einen, aus

---

*) Raisons des forces mouvantes. Paris, fol. 1. Buch, 1 Blatt.

**) A. a. O. Lehrsatz Nr. 5.

***) A. a. O. §. 25.

****) 1. Lehrsatz. S. 2 u. 3 a. a. O.

*****) Quarterly Journ. of Sc. New Ser. No. X. p. 322.

†) Salomon de Caus, um dessen Ehrenrettung sich Arago so sehr bemüht, gehört ebenso wie Papin, thatsächlich der deutschen Nation an. Montucla (Gesch. d. Mathem.) erwähnt de Caus nur mit wenigen Worten. Die Biographie Universelle läßt ihn in der Normandie geboren sein, doch fehlt dafür jeder Beweis. Er soll einige Zeit im Gefolge des Prinzen von Wales sich in England aufgehalten haben. Später lebte er sicher in Heidelberg und schrieb daselbst sein Werk „Raisons des forces mouvantes", das zuerst in Frankfurt erschien, 1615. Er legt sich selbst den Titel eines „Ingenieurs und Architekten Seiner Churpfälzischen Eminenz" bei. Es soll noch jetzt eine Familie Kaus in der Pfalz geben. Wenn auch das Werk in französischer Sprache geschrieben ist und de Caus sich in der Widmung an Ludwig XIII. dessen „Unterthan" nennt, so ist damit noch nicht bewiesen, daß de Caus ein geborner Franzose sei und jedenfalls hat er, wie Papin, erst in Deutschland und durch deutsche Unterstützung das geleistet, was seinen Namen der Nachwelt aufbewahrt hat. Derselben Ansicht ist auch Baumgartner.

††) Le Machine diverse del Signor Giovanni Branca. Rom 1629. fol. pl. XXV.

†††) Siehe Baillet im Journ. des Mines. T. 33. p. 320.

††††) Marquis of Worcester's A century of the names and scantlings of such inventions as at present I can call to mind to have tried and perfected. Lond. Patent. 1663. Zuerst gedruckt 1683 nach Worcester's Tode; 1746, 1786. Glasgow 1767; von J. Buddle 1813. Neue Ausgabe von Partington 1825. — Uebersetzt in Désagulier's Physique. T. II. p. 585. in Bibl. brit. T. X. p. 129 und in Gregory's Mechanik. Bd. II.

†††††) A century of inventions. 68. Erfindung. Siehe den Artikel Dampfgeschütz. S. 202.

mehreren Gefäßen bestehenden Apparat, der mit Hülfe des Dampfes, Wasser in einem anhaltenden Strahle auf eine Höhe von 40 Fuß heben sollte. Die Beschreibung ist aber ebenso kurz als unklar und führt Arago*) wie Stuart**) zu der richtigen Vermuthung, daß der Marquis von Worcester nur eine Combination von 2 de Caus'schen Apparaten anwandte. Weder in der angegebenen Schrift, noch in einer anderen ungedruckten ***) ist irgend eine verständliche Angabe oder Zeichnung enthalten. Die Zeichnungen, die man von dieser angeblichen Dampfmaschine in neuerer Zeit entworfen hat, beruhen auf ganz willkürlichen Deutungen ****). Robison *****) und Stuart erklären den Marquis für einen prahlerischen Schwärmer, von dem es noch zweifelhaft sei, ob die Vorschläge von ihm selbst herrührten. Andererseits schmückt man Worcester's Verdienst mit vielen Erfindungen aus †). Es ist wohl außer Zweifel, daß weder Worcester noch Jemand nach ihm eine ähnliche Maschine je ausgeführt hat ††). Lardner †††) betrachtet sie jedoch, ebenso wie Désagulier als Grundlage zu Savary's späterer Erfindung ††††).

1682. Sir Samuel Moreland †††††) suchte am Hofe Ludwig's XIV. um Unterstützung für den Bau von Maschinen nach, um Wasser mittelst der Dämpfe zu heben. So unvollkommen seine Angaben auch sind, die er in

---

*) Annuaire p. 1829. In der Uebers. S. 16.

**) A descriptive History. p. 10.

***) An exact and true Definition of the most stupendous Water-commanding-engine invented by Edwart Sommerset, Lord Marquis of Worcester etc. p. 20. 4. in den Manuscripten des Brittischen Museums Nr. 2428. Ebendaselbst befindet sich das Manuscript der Century of Inventions von 1663.

****) Unter Andern Désagulier (Phys. T. II. p. 585.), Millington (Epit. Vol. I.), Partington (Hist. acc. p. 5), als eifrige Vertheidiger von Worcester's Genie. Neuerlich in Brewster's Edinb. Journ. of Sc. III. 38. Delaunay mécan. T. II. 615.

*****) Encycl. Brit. art. Steam engine.

†) Buchanan, treatise an Propelling Vessels by steam. Glasgow 1816. p. 16.

††) Bernouilli (Dampfmaschinenlehre, 1. Absch. S. 20) erwähnt, daß man vor Kurzem „in einer alten Reisebeschreibung" gefunden habe, daß der M. v. Worcester wirklich eine Dampfmaschine ausgeführt habe. Doch beweist diese Angabe nichts.

†††) Lectures on the steam engine. §. 27.

††††) Eduard Sommerset, Marquis von Worcester lebte unter der Regierung der letzten Stuarts. Verwickelt in alle Intriguen dieser Epoche, erfuhr er viele widerwärtige Schicksale. Er verlor sein Vermögen, kam nach Irland, ward daselbst eingekerkert, entwich und erreichte Frankreich. Hier soll (siehe Malten's Weltkunde Bd. III. S. 313) der Marquis mit Salomon de Caus bekannt worden sein. Man erzählt, daß S. de Caus vom Cardinal Richelieu als Wahnsinniger erklärt und in den Bicètre eingesperrt, daselbst wirklich wahnsinnig geworden sei. Der M. v. Worcester soll ihm im Bicètre die Idee seiner Dampfmaschine entwendet haben, um sie später für seine eigene Erfindung auszugeben. In Aufträgen Carl's II. kehrte der Marquis nach London zurück, ward entdeckt und in den Tower gesperrt, aus welchem er erst durch die Restauration befreit ward. Er schrieb sein Manuscript in der Gefangenschaft, vollendete es 1663 und starb 1667. Die erste gedruckte Ausgabe ist von 1683. — (1663 ist das Datum des Patentes von Worcester's Erfindung.) Worcester ist als excentrischer Kopf und Projectenmacher bekannt, der seine Ideen sofort als ausgeführt angab und Wunderwirkungen davon verhieß.

†††††) Secretär von Thurloe unter Cromwell's Protectorat, und zugleich, wie man versichert, Spion im Solde Karl's II. und von diesem in der Restauration zum Baronet ernannt. Moreland hat sich mit mehreren akustischen Fragen, namentlich mit der zweckmäßigsten Gestalt des Sprachrohres beschäftigt. Er starb zu Hammersmith im Januar 1696.

einem besonderen Werke veröffentlichte *), so geht doch daraus hervor, daß er die ersten richtigen Versuche im Großen über die Expansion und Spannkraft der Wasserdämpfe in England angestellt hat, während ihm darin Papin in Deutschland schon zuvorgekommen war. Man will in Moreland's Vorschlägen sogar die spätere Newcomen'sche Idee wiedererkennen **). Arago nennt Moreland's Erfindung ein Plagiat von de Caus und Worcester, erkennt aber den wissenschaftlichen Werth von Moreland's Experimenten an.

§. 59. **Zweite Periode.** Von der Erfindung der Kolbendampfmaschine bis zur Erfindung des Condensators, von Papin bis Watt, 1690 bis 1765.

1681. Papin erfindet den Digestor ***), der als erster Dampfkessel mit Hochdruck anzusehen ist ****).

1682. Papin erfindet das Sicherheitsventil *****).

1685. Papin wendet zuerst den Kolben an, erzeugt aber noch das Vacuum unter demselben mit einer Luftpumpe, welche er durch ein Wasserrad bewegen will, um den atmosphärischen Druck sodann als bewegendes Mittel anzuwenden †).

1687. Papin übergiebt diese Maschine der königlichen Societät zu London, deren Mitglied er seit 1681 war. Die sich ergebenden Schwierigkeiten veranlassen ihn, das Vacuum durch entzündetes Schießpulver zu erzeugen und hierdurch zugleich den Kolben zu heben ††).

1690. **Papin** giebt die Idee an, einen leeren Raum durch verdampftes Wasser zu erzeugen, welches er durch Abkühlung wieder verdichtete †††). Er ist folglich der Erfinder der atmosphärischen Maschine.

1690. Papin benutzt die Spannkraft des Dampfes zum Heben des Kolbens ††††). Er benutzt folglich zuerst den Ueberdruck

*) Das Manuscript seines Memoire befindet sich im Britt. Mus. Nr. 5771 und enthält 38 S. 4., worin 4 Seiten von den Dampfmaschinen handeln. — In Paris erschien 1685 das Werk Moreland's unter dem Titel: „Emportreiben des Wassers durch allerlei Maschinen, bestimmt nach Maaß, Gewicht und Wage", Ludwig XIV. gewidmet. Dieses Werk enthält aber, nach Arago, das Capitel über den Dampf nicht.

**) Vergl. Journ. de Phys. T.XCIII. p. 399.

***) Siehe d. Art. Digestor.

****) A new Digestor. London 1681.

*****) Continuation of the new Digestor. London 1687. 4.

†) Acta Erud. Lips. 1685. p. 410. — Vergl. Nouvelles de la République des Lettres. 1687. Juni. — Jahrb. d. Polyt. Inst. Bd. I. S. 160.

††) Acta Erud. Lips. 1688. p. 644.

†††) Er veröffentlichte diese und die nachfolgenden Erfindungen, mit der Jahreszahl 1690 bis 95 in dem Werke: Recueil des diverses Pièces touchant quelques nouvelles Machines. Casell 1695. Angezeigt in den Phil. Transact. März 1697. T. XIX. p. 483. — Eine lateinische Ausgabe des Recueil erschien ebenfalls im Jahre 1695 zu Marburg. — Die auf Papin's Erfindung der Condensation durch Abkühlung bezüglichen Stellen befinden sich im Recueil p. 53 bis 61. — Er entwickelte auch seine Ideen in einem Briefe an den Landgrafen Wilhelm Moritz. (Recueil p. 38.)

††††) Recueil p. 55.

des Dampfes, erzeugt den Dampf aber noch im Cylinder selbst und nicht in einem abgesonderten Kessel *). Durch die Combination des Systems der Condensation und der Wirkung des Dampf-Ueberdruckes auf einen Kolben wird Papin der Erfinder der Dampfmaschine **).

1690. Papin schlägt vor, seine Dampfmaschine zum Drehen einer Spindel oder Axe zu verwenden und giebt eine Art an, diesen Vorschlag auszuführen ***).

1695. Papin schlägt eine doppelt wirkende Dampfmaschine mit 2 Cylindern vor, deren beide Kolbenstangen auf dieselbe Axe wirken sollten, um den Mangel einer gleichmäßigen Bewegung und Kraftäußerung seiner „Luftdruckmaschine" durch abwechselnde Treibwirkung beider Kolben vermittelst Zahnstange und Getriebe zu ersetzen ****).

1695. Papin erkennt die Möglichkeit, die, durch 2 Dampfcylinder hervorzubringende rotirende Bewegung einer Axe, zum Treiben eines Bootes mittelst Ruderrädern anzuwenden *****).

Alle bis hierher erwähnten Vorschläge Papin's wurden zunächst nicht im Großen ausgeführt, sondern Papin beschränkte sich theils auf die Vorschläge, theils auf die Ausführung in Modellen, um durch Versuche die Folgerichtigkeit des Princips vom Ueberdruck und der Verdichtung des Dampfes zu zeigen.

1698. Capitän Savary erhält ein Patent (am 25. July) auf eine, von ihm erfundene und zuerst schon 1696 im Großen ausgeführte Wasserhebungsmaschine ohne Kolben †). Er gab 1696 eine Beschreibung derselben heraus, die er später vervollständigte ††). Mit einem Modell seiner Maschine machte er in Gegenwart des Königs William Versuche zu Hampton-Court und vor der königlichen Societät †††) 1699. Die Maschine Savary's besteht aus 2 Gefäßen, deren eines das zu hebende Wasser enthält, das andere den Dampfkessel bildet. Der Dampf bewirkte das Heben des Wassers auf doppelte Weise. Zunächst wurde durch Erkältung und Condensirung von Dampf ein Vacuum erzeugt, wodurch eine Aspiration von Wasser erfolgte. Dieses angesammelte Wasser wurde durch frischen Dampf mit Ueberdruck gehoben, indem der Dampf

*) Das Modell, dessen sich Papin zuerst bediente, hatte nur $2\frac{1}{2}$ Zoll Kolbendurchmesser und wog 5 Unzen. Es hob damit 60 Pfund in $\frac{1}{1}$ Minute auf die ganze Hubhöhe des kleinen Cylinders. Daß (nach Pouillet) Papin später Cylinder von mehreren Fuß Durchmesser construirte, ist bereits S. 257 und 258 erwähnt.

**) Die Beschreibung und Abbildung von Papin's 1. Maschine siehe Cap. I. §. 7. S. 256. Die Berechnung §. 8. S. 258.

***) Acta Erud. Lips. 1690.

****) Recueil p. 58 u. 59.

*****) Recueil p. 57 bis 60. — In neuester Zeit ist diese Behauptung bestätigt durch eine Mittheilung von Kuhlmann in Marburg an Arago über Auffindung eines Briefwechsels zwischen Papin und Leibnitz vom Jahre 1695. (Siehe Arago's Mittheilung an die Par. Akademie; Augsb. Allg. Zeitung 1852. Nr. 98.)

†) Desagulier's Exper. Phil. T. II. p. 466. — Switzer, Introduction to a general System of Hydrostatics. 1729. T. II. Vol. I. p. 324. — Robison, Mech. Phil. T. II. p. 48.

††) Savary, the Miners Friend. 1699. Mit Zusätzen 1702.

†††) Phil. Trans. 1699. T. XXI. p. 228. — Act. Erud. 1700. p. 20. — Leupold, Theat. Mach. gen. Tab. LII. — Weidler, Tract. de Mach. hydr. p. 84.

direct mit dem Wasser, ohne Kolben, communicirte und sodann, durch seine Abkühlung wieder zur Erzeugung des Vacuums diente *). Seine Maschine ist sonach eine Saug- und Druckpumpe, bei der nicht ein Kolben, sondern abwechselnd frischer Dampf das Drücken und condensirter Dampf das Saugen bewirkte. Nach unserer Entwickelung **) kann diese Maschine, die nur zum Heben des Wassers zu verwenden war, nicht als Dampfmaschine bezeichnet werden. Wenn wir auch mit Lardner ***) annehmen, daß Savary Papin's Recueil von 1695 nicht gekannt habe, so wird ihm doch selbst von englischen Schriftstellern vorgeworfen ****), daß er nur die Idee Worcester's benutzt und weiter ausgebildet, ja sogar die Exemplare von Worcester's Schrift aufgekauft und vernichtet habe, um als Erfinder zu gelten. Savary vertheidigte sich zwar 1699 *****) gegen verschiedene Einwürfe, konnte aber den Hauptpunkt, daß er ein Nachahmer von Worcester sei, nicht beseitigen. Savary verbesserte seine Maschine, ersetzte die Hähne durch Ventile rc., brachte aber kein Sicherheitsventil an. Dies war Papin vorbehalten, der die Maschine 1707 verbesserte. (Siehe unten.) Spätere Verbesserungen reichen bis in die neuere Zeit. Hervorzuheben ist die von Pontifex †). Savary's Maschine ward aber durch die von Newcomen bald verdrängt ††). Arago †††) gesteht Savary nur das Verdienst zu, eine Wasserhebungsmaschine in größerem Maßstabe als Salomon de Caus und mit Anwendung des Vacuums nach Papin's Condensationsprincip, jedoch mit dem Fortschritt ausgeführt zu haben, daß Savary die Condensation des Dampfes durch äußere Abkühlung zuerst angewendet hat.

1699. Amontons legt der Pariser Akademie die Beschreibung einer von ihm erfundenen unmittelbar rotirenden Dampfmaschine vor ††††). Die Maschine war zwar complicirt und erforderte viel Brennmaterial, ist aber als erste Rotationsmaschine hervorzuheben, zumal diese Erfindung selbstständiger und eigenthümlicher dasteht als die Savary's.

1705. Newcomen und Cowley erhalten ein Patent auf die erste, im Großen ausgeführte atmosphärische Dampfmaschine †††††). Wenn

---

*) Später fügte Savary, um das Ausströmen nicht zu unterbrechen, noch ein drittes Gefäß hinzu, welches sich durch Aufsaugen mit Flüssigkeit füllte, während das erstere sich entleerte und umgekehrt. Es gehörte dazu ein zweckmäßig angebrachtes System von Röhren und Hähnen, um die Communication mit dem Dampfkessel regelmäßig herzustellen und zu unterbrechen. — Eine sehr gute Abbildung von Savary's Maschine siehe in Delaunay, mécan. T. II. p. 617.

**) Siehe §. 57.

***) Lectures etc. § 30.

****) Désagulier, Experim. Phil. T. II. p. 466. — Lardner, Lectures. §. 30.

*****) The Miners friend. 1702.

†) Partington. S. 12.

††) Eine ausführliche Aufzählung von den Verbesserungen an Savary's Maschine, die wir hier übergehen müssen, giebt u. A. Muncke in Gehler's phys. Wörterb. Bd. II. S. 426 bis 431.

†††) Annuaires p. 1829. — S. 32 der Uebersetzung von Remy.

††††) Mém. de Par. 1699. p. 112.

†††††) Die Zeichnung, Beschreibung und Berechnung dieser Maschine siehe in Cap. I. §. 5 und 6.

man auch annimmt, daß Newcomen und Cowley Papin's Erfindungen nicht gekannt haben, so ist doch ihre Erfindung keine selbstständige. Sie wird bis auf Moreland zurückgeführt (siehe §. 58). Stuart *) giebt sogar an, daß sich in Robison's Papieren ein Memorandum gefunden habe, wonach Dr. Hooke schon 1678 die atmosphärische Dampfmaschine angegeben haben soll. Dies ist durch Muncke widerlegt worden **). Wohl aber führte Hooke, der Papin's Versuche kannte, in seinem Briefwechsel mit Newcomen Letzteren darauf, ein Vacuum durch Dämpfe zu erzielen ***). Die Idee gebührt also Papin, die Verbesserung Hooke und die Ausführung im Großen ist das Verdienst von Newcomen und Cowley, zu denen sich Savary gesellte, der sein Patent auf das Condensationsprincip nicht veräußern wollte und daher als Compagnon in das neue Patent eintrat. Dadurch ward die vollendete Ausführung der atmosphärischen Maschine bis 1711 verzögert. Indeß kannten alle 3 die Theorie so wenig ****), daß sie das richtige Verhältniß der Theile nicht herzustellen vermochten und nur durch Zufall *****) auf die Verbesserungen der atmosphärischen Maschine kamen. Diesem Zufall verdanken wir aber 1712 die Condensation durch Injection, das einzige unbestrittene Verdienst, welches wir neben der Ausführung im Großen, Newcomen zugestehen können. Es ist schon früher erwähnt †), daß die atmosphärische Maschine ††) noch nicht als eigentliche Dampfmaschine zu betrachten ist. Von den vielfachen Verbesserungen dieser Maschine werden im Folgenden die hauptsächlichsten noch angeführt.

1707. Papin veröffentlicht ein neues Werk †††), worin er Savary's Erfindung verbesserte. Er brachte das Sicherheitsventil an und versah den Wassercylinder mit einem schwimmenden Kolben, oder Schwimmer, auf welchen der Dampf drückte und dadurch das Wasser hob, ohne durch directe Berührung mit demselben sich zu condensiren ††††). Das Condensationsprincip war dabei überhaupt nicht angewandt. Um eine rotirende Bewegung mit dieser Maschine zu erzielen, leitete er das so gehobene Wasser auf ein Wasserrad †††††).

1707. Papin, damals in Hanau, macht die ersten Versuche mit einem Dampfboot auf der Fulda bei Kassel. Das Boot hatte 2 Schaufelräder an seinen beiden Seiten. Diese wurden durch eine doppeltwirkende Dampfmaschine mit 2 Cylindern (von je einfacher Wirkung) in Bewegung gesetzt, welche so wirkten,

*) Stuart, History. p. 20.

**) Gehler's Phys. Wörterb. Bd. II. S. 437.

***) Stuart. S. 58.

****) Thomas Newcomen, ein Schmidt, John Cowley, ein Glaser aus Darmuth in Devonshire, waren Beide Wiedertäufer. Newcomen besaß einige Kenntnisse und stand in Briefwechsel mit Hooke. Er consultirte diesen, bevor er sich auf seine Versuche einließ. (Siehe Robison, a System etc. T. II. p. 58.)

*****) Siehe Cap. I. §. 6. S. 252.

†) Cap. I. S. 250 und 255.

††) Diese Maschinen hießen anfangs Hebelmaschine oder Feuermaschine, Feuerpumpe (pompe à feu).

†††) D. Papini Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam. Casellis 1707. 4.

††††) Ars nova. p. 26.

†††††) Eine vortreffliche Abbildung dieser Maschine giebt Delaunay, Mécanique. T. II. p. 619.

wie in neuerer Zeit Maudslay zuerst Schiffsmaschinen mit 2 Cylindern construirte. Dieses, erst kürzlich festgestellte Factum *) ist sehr wichtig, weil es die frühere Annahme widerlegt, daß Papin niemals Versuche im Großen ausgeführt habe. Es liefert uns den Beweis, daß Papin nicht nur der Erfinder und erste Constructeur der Dampfmaschine, sondern auch der Erfinder des Dampfbootes ist **).

1712. Humphry Potter erfindet die erste Selbststeuerung der Hähne an der atmosphärischen Maschine ***).

1718. H. Beighton (gestorben 1743) bringt zu Newcastle-on-Tyne wesentliche Verbesserungen an der atmosphärischen Maschine an. Er gab der Maschine das von Désagulier vorgeschlagene Sicherheitsventil und erfand die Selbststeuerung durch den Plug-frame (Steuerbaum mit Knaggen) ****).

1724. Leupold beschreibt die erste Hochdruckmaschine *****) mit 2 Cylindern von einfacher Wirkung. Er bringt zuerst den Vierweghahn als Steuerungsmittel in Anwendung †). Nach Arago verdankt Leupold die Idee der Hochdruckmaschine Papin, doch ist gewiß, daß Leupold die Idee zuerst veröffentlichte und ausführte und daß folglich die Hochdruckmaschine eine deutsche Erfindung ist.

1737. Jonathan Hull schlägt die doppelt gekröpfte Kurbelaxe als Mittel vor, die Bewegung der atmosphärischen Maschine in eine rotirende zu verwandeln. Er giebt zugleich eine Beschreibung und Abbildung eines Dampfbootes mit Schaufelrädern ††) und gilt in England als Erfinder des Dampfbootes †††). Dies wäre auch gegründet, wenn die Angabe über Papin's Versuche von 1707 sich nicht bestätigen sollte. Als Erfinder der Ruderräder kann, wie Arago beweist, aber weder Papin noch Hull gelten ††††).

---

*) Nach einer Mittheilung von Kuhlmann in Marburg an Arago in Folge der Auffindung eines Briefwechsels zwischen Papin und Leibnitz. Arago beeilte sich, auch dieses Factum der Par. Akademie im März 1852 vorzulegen. (Augsb. Allg. Zeitung. 1852. Nr. 98.)

**) Außer Stuart (Hist. of the St. Eng.) lassen auch Millington (Epit. p. 255) und namentlich Bossut (Hydrodynamik) dem Verdienste Papin's Gerechtigkeit wiederfahren. Ebenso weisen Galloway und Farey schon auf die Phil. Transact. T. I. p. 1697 hin. — Arago hebt besonders hervor, daß Papin, der, seit 1681 durch Boyle eingeführt, schon Mitglied der königl. engl. Societät war, von der Pariser Akademie niemals zum Mitgliede ernannt wurde. Wir finden darin einen neuen Beweis, daß Papin thatsächlich Deutschland angehörte, da die Franzosen ihn weder um seiner Geburt, noch um seiner Verdienste willen anerkannten, sondern vollständig ignorirten, um ihn jetzt zur Ehre ihrer Nation zu reclamiren, der er durchaus entfremdet ward. Papin starb in Marburg 1710.

***) Siehe Cap. I. S. 253.

****) Siehe Cap. IV. S. 362.

*****) Theatrum Mach. hydraul. 1724. T. II. Tab. 30.

†) Die Abbildung, Beschreibung und Berechnung siehe in Cap. I. S. 261.

††) A description and drought of a new-invented machine for carrying vessels or ships out of or into any harbour. London 1737.

†††) Quarterly Review 1818. T. XIX. p. 353 u. 355.

††††) Arago (Annuaire 1819) beruft sich dabei auf eine Stelle in Papin's Recueil (p. 57 — 60), wo dieser von einer Barke des Prinzen Robert spricht, die durch Ruderräder mit Pferden bewegt wurde. Die ersten genauen Versuche mit Ruderrädern stellte v. Duet im Jahre 1699 an. (Mach. appr. par l'Académie. T. I.)

1758. K. Fitzgerald bediente sich zuerst des Schwungrades zur Regulirung der Axendrehung der atmosphärischen Dampfmaschine *). Er bewirkte die Axendrehung durch ein, am Balancier angebrachtes Räderwerk **).

1765. Smeaton (geb. 1724) gab der atmosphärischen Maschine die richtigen Verhältnisse und brachte sie zugleich in Hinsicht der Construction zu dem Grad der Vollkommenheit, deren sie überhaupt fähig ist.

Im Rückblick auf diese, für die Entwickelung der Dampfmaschine ebenso ergiebige, als wichtige Periode, heben wir nochmals hervor, daß Savary's Maschine unmöglich als Dampfmaschine in unserem Sinne betrachtet werden kann, womit der heftige Streit über die Priorität der Erfindung das Hauptargument zu Gunsten der Engländer, verliert. Selbst angenommen, daß Newcomen's Maschine unabhängig von Papin erfunden sei, so stimmen wir doch der Ansicht Arago's ***) vollkommen bei, daß in den Künsten und Wissenschaften der später Auftretende so angesehen werden muß, als habe er um die Arbeiten seiner Vorgänger gewußt. Jede gegentheilige Erklärung muß für den Historiker ohne alle Wirkung sein, da der Beweis nie mit Sicherheit zu führen ist. Wird eine Erfindung wirklich 2 Mal gemacht, so ist es Schuld des Nachfolgers und spricht weder für seine Kenntnisse noch für seine Umsicht, sobald bewiesen werden kann, daß die früheren Thatsachen dem späteren Erfinder überhaupt bekannt sein konnten. Nur die historische Reihenfolge darf in diesem Falle entscheiden. Dies gilt sowohl für das Verhältniß von Worcester zu S. de Caus, wie von Newcomen und Savary zu Papin ****).

§. 60. **Dritte Periode**. Empirische Vollendung der stationären Niederdruckmaschine bis zur ersten ortsverändernden doppeltwirkenden Hochdruckmaschine. Zeitalter von Watt bis zu Trevithick und Vivian. 1769 bis 1802.

---

*) Phil. Transact. 1758. p. 53, 370, 727.

**) Das Schwungrad von Fitzgerald und die Kurbel von Hull wurden wenig beachtet und geriethen so vollständig in Vergessenheit, daß Washborough 1778 noch einmal die Kurbel und Watt das Schwungrad erfand, wiewohl es zweifelhaft ist, ob Letzterer die beiden Erfindungen nicht gekannt haben sollte. (Stuart S. 91.)

***) Annuaires 1829. — In der Uebersetzung. Bd. I. S. 34.

****) Dennoch bleibt den Engländern die Ehre, die ersten Dampfmaschinen im Großen ausgeführt und praktisch angewendet zu haben — eine Ehre, die nicht minder groß ist, als die, ein Project vorgeschlagen oder im Modell ausgeführt zu haben, sobald man die Unvollkommenheit der damaligen mechanischen Mittel und Werkstätten bedenkt. Die richtige Würdigung der Verdienste liegt darin, daß sich Papin zu Newcomen und Savary verhält, wie die Theorie zur Praxis; wie der gelehrte deutsche Professor zum praktischen englischen Arbeiter. Jener denkt, dieser führt aus und der Ausführende hat um so größeres Verdienst, wenn er zugleich erfindet, während der Denker fast niemals ein guter Praktiker sein wird. Die seltene Ausnahme, Watt, steht darum so unerreichbar da. Die Engländer könnten sich wohl mit dem Ruhme begnügen, diesen universellen Genius besessen zu haben und den Deutschen den kleineren Ruhm lassen, für fremde Nationen und fremde Interessen gedacht und gewirkt zu haben — ein Ruhm, der zur deutschen Eigenthümlichkeit ganz besonders zu gehören scheint. Anmerk. d. Verf.

1765. James Watt *) spricht die erste Idee des getrennten Condensators an den atmosphärischen Dampfmaschinen **) aus.

1768. James Watt verlangt und erhält 1769 das erste Patent auf seine einfach wirkende Dampfmaschine (single reciprocating engine). Dieselbe besitzt einen getrennten Condensator mit Injection, die Luftpumpe und verbesserten Dampfkolben ***).

---

*) James Watt, der Sohn von James Watt und M. Muirhead, wurde am 19. Januar 1736 zu Greenock in Schottland geboren. Er erhielt, bei sehr schwächlicher Constitution, den ersten Unterricht durch seine Eltern. Bis zum 16. Jahre besuchte er die öffentliche Freischule. Träumerisch, zurückgezogen und durch Krankheit vom regelmäßigen Schulbesuch abgezogen, galt er für träge. Sein Vater aber erkannte und förderte schon frühzeitig die mathematischen und mechanischen Talente des Kindes. Watt kam mit 16 Jahren in eine kleine mechanische Werkstätte in die Lehre, trieb aber während dieser Zeit alle Naturwissenschaften, namentlich Chemie und Physik nach Gravesande's Elements of natural philosophy. 1755 ging er nach London in das Atelier des Mechanikers Morgan, einem Verfertiger mathematischer Instrumente. Wegen seiner schwachen Gesundheit kehrte er im folgenden Jahre nach Glasgow zurück. 1757 erhielt er von der Universität in Glasgow den Titel eines Ingenieurs und den Posten als Conservator der Modellsammlung, mit der Erlaubniß, einen eigenen Laden zu errichten. Als Conservator verfertigte Watt eine Reihe von Modellen. Er ward mit Adam Smith, Black und Simson bekannt. Robison war zu der Zeit Student, trat in Verbindung mit Watt, vertraute ihm sein Project, die Leupold'sche Dampfmaschine zur Bewegung von Wagen anzuwenden und regte ihn zu Versuchen an. Mehrere Versuche, welche Watt 1759, 1761 und 1762 anstellte, führten zu keinem Erfolg. Da beauftragte 1764 Prof. Anderson den Conservator Watt, ein Modell der Maschine von Newcomen auszubessern. Watt entdeckte darin die Fehler und Nachtheile der Construction, welche die kleinen Dimensionen der Maschine auffallender machten. Nach vielfachen Untersuchungen über die Natur der Dämpfe mit Black und Robison sprach Watt 1765 die Idee des getrennten Condensators aus. Nachdem er sich 1764 bereits verheirathet hatte, verließ er die Universität und arbeitete als Feldmesser unter Smeaton, ohne seine Entdeckung weiter verfolgen zu können. 1767 ward er mit Dr. Roebuck bekannt, theilte ihm seine Ideen mit und wurde von diesem pekuniär unterstützt. 1768 führte Watt schon seine erste einfach wirkende Dampfmaschine in Verbindung mit Dr. Roebuck aus. Sie wurde zu Kinneil in den Kohlenminen des Herzogs von Hamilton aufgestellt. 1769 erhielten Watt und Roebuck ein Patent darauf. Gleichzeitig erlitt aber das Vermögen von Roebuck bedeutende Verluste und Watt wurde wieder Feldmesser und Wasser- und Straßenbau-Ingenieur Er baute Canäle und Brücken bis 1773. In diesem Jahre trat er in Compagnie mit dem unternehmenden und vermögenden Boulton, nachdem Roebuck freiwillig aus dem Patent ausgeschieden war. Sie errichteten eine Fabrik in Soho bei Birmingham und erlangten 1775 nach vielen Schwierigkeiten eine Verlängerung des abgelaufenen Patentes, bis 1800. Von 1775 an ward die Verbindung Watt's mit Boulton, der einen umfassenden, regsamen Geist mit ansehnlichen pekuniären Mitteln verband, mit dem besten Erfolge gekrönt. Watt erhielt Patente auf neue Erfindungen 1780, 1782 und 1784. Die gelehrten Gesellschaften zu London und Edinburgh ernannten ihn zu ihrem Mitgliede. Das Institut de France erwählte ihn 1808 zum Correspondenten und 1814 zu einem ihrer 8 auswärtigen Mitglieder. Er zählte Herschel, Deluc, Ramsden, Robison, Southern, Rennie rc. zu seinen Freunden. Burke war Gegner von Watt. Boulton war bereits 1809 gestorben. Durch seine Patente erwarb sich Watt ein glänzendes Vermögen, war aber zuvor lange Zeit in einen Prozeß mit den Bergwerksbesitzern von Cornwallis verwickelt, welche ihm $1/3$ der Kohlenersparniß zahlen mußten. Er gewann den Prozeß und zog sich in späteren Jahren aus den Geschäften zurück. Er lebte in seinem Haus zu Heathfield bei Birmingham und starb am 25. Aug. 1819 im Alter von 84 Jahren.

**) Siehe Cap. I. S. 255.

***) Siehe Cap. I. §. 10 und 11.

1769. Der Grundsatz der Benutzung des Dampfes durch Expansion wird von Watt bereits ausgesprochen *). Er erhält ein Patent auf seine Expansion Engine, bei welcher der Dampf zur Aequilibrirung des Kolbens dient, der geschlossene Cylinder in einen Mantel gehüllt und Selbststeuerung angebracht ist. Die Bewegung der Maschine war aber noch keine rotirende **). Die Maschine ist dieselbe, die wir jetzt einfach wirkende Cornwallmaschinen nennen ***).

1773. Association von Watt mit Boulton. Errichtung der Fabrik zu Soho.

1774. Watt legt dem Unterhause die Zeichnung einer doppelt wirkenden Maschine vor.

1775. Erneuerung des Patentes auf Watt's Single reciprocating and expansion engine und Verlängerung desselben bis 1800.

1775. Perrier erbaut das erste Dampfboot und macht Versuche auf der Seine ****). Gleichzeitig theilt Franklin dieselbe Idee in einem Briefe an Leroi mit.

1778. Washborough aus Bristol erhält ein Patent auf die Kurbel, zur Hervorbringung der rotirenden Bewegung *****) bei Dampfmaschinen.

1779. Dr. Falk †) schlägt eine doppeltwirkende Dampfmaschine mit 2 Cylindern von einfacher Wirkung vor ††).

1781. Hornblower erhält ein Patent auf eine Expansionsmaschine mit 2 Cylindern und einfacher Wirkung †††). Der eine Cylinder war der Expansionscylinder ††††).

1782. Watt erhält ein Patent auf seine doppelt wirkende rotirende Maschine †††††) (Double condensing engine). Um Washborough's Patent auf die Kurbel zu umgehen, brachte Watt statt der Kurbel das Sonnen- und Planetenrad und das Schwungrad an. Die Anwendung und Vortheile der Expansionsmaschinen sind in dem Patent von 1782 vollständig beschrieben und zur Benutzung vorbehalten *†).

---

*) In einem Briefe an Dr. Small ddt. 1769.

**) Siehe Cap. I. §. 11 und Cap. IV. §. 35.

***) Die erste Maschine dieser Art ward 1776 zu Soho aufgestellt. Eine zweite ward 1778 in den Shadwell Water Works benutzt, und seitdem wurden sie allgemein.

****) Nach Arago existirt darüber ein Werk von Ducrest, 1777. Siehe Annales de l'Industrie 1822. Dec. p. 297.

*****) Siehe 1737 J. Hull.

†) Falk, description of an improved steam engine. London 1779. 8.

††) Falk wollte später Watt sein Patent auf die doppeltwirkende Dampfmaschine streitig machen. Doch sind die Principe beider Maschinen verschieden und die Falk'sche Idee bereits von Papin ausgesprochen (1695).

†††) Repertory of Arts. London T. IV. p. 361. — Short Statement of Boulton and Watt, in Opposition to Hornblowers Renewal of Patent. Lond. 1792. 8.

††††) Hornblower's Maschine war eine Vervollkommnung von Falk's Vorschlag und das Vorbild zur späteren Woolf'schen Maschine.

†††††) Siehe Cap. I. §. 14, 15. Cap. IV. §. 36.

*†) Eigentliche Expansionsmaschinen hat Watt zwar angegeben, aber nicht ausgeführt. Seine doppelt wirkende Niederdruckmaschine war ohne Expansion, und bei seiner Expansion-Engine bewirkte der Dampf nur die Aequilibrirung des Kolbens, ohne durch Expansion zur Erhöhung des Nutzeffectes beizutragen.

1783. de Maillard erhält den Preis der Petersburger Akademie für die erste vollständige Theorie der atmosphärischen Dampfmaschine *).

1784. Watt erhält ein Patent auf die Erfindung des Parallelogrammes zur Geradführung und des Centrifugal-Pendels als Regulator (Governor) **).

1786. Oliver Evans macht die ersten Vorschläge zu einer Hochdruckmaschine mit Expansion ***), welche er zur Bewegung eines Wagens anwenden wollte.

1795. Robison schlägt gleichfalls eine Hochdruckmaschine zur Wagenbewegung vor. Die Idee hatte er schon 1760 gegen Watt ausgesprochen. Trevithick und Vivian realisirten nur Robison's Vorschläge ****).

1797. Cartwright erhält das erste Patent auf einen Metallkolben *****).

1797. Smeaton schlägt vor, die Dampfmaschinen tragbar (locomobil) zu machen †).

1797. Murray erfindet den C Schieber und das Excentric zur Schieberbewegung ††).

Ein Ueberblick über diese wichtige Periode zeigt uns, daß Watt fast das ausschließliche Verdienst derselben in Anspruch nimmt. Was außer Watt geleistet wurde, waren meist nur Vorschläge, oder Verbesserungen der Watt'schen Ideen. Arago sagt sogar †††), daß es unter den Erfindungen, welche die jetzige Dampfmaschine vereinigt, wenige gebe, welche nicht die Entwickelung einer der ersten Ideen Watt's wäre. Alles, was nach Watt noch geleistet und erfunden werden konnte, steht in keinem Verhältniß zu Watt's Verdiensten. Es ist Thatsache, daß Watt in seinen Patenten viele Ideen aufnehmen ließ, die er nicht alle ausführen konnte oder wollte. Watt gab darin die erste Idee der Hochdruckmaschine, der Expansionsmaschine mit 2 Cylindern, der Bewegung einer gekröpften Kurbelaxe mit 2 Cylindern ohne Schwungrad und des Metallkolbens. Er gab eine unmittelbar rotirende Maschine an und erfand das erste Dampfgeschütz, das er von Hornblower ausführen ließ. Wenn diese und ähnliche Ideen Watt's auch den späteren Erfindungen Bahn gebrochen haben, so ist doch auch nicht in Abrede zu stellen, daß seine viel umfassenden Patente, bis zu ihrem Erlöschen, manchem erfinderischen Kopf die Hände banden und Watt bis zum Jahre 1800 als geistiger Alleinherrscher auf dem Gebiete der Mechanik anzusehen war.

Außer den, bereits angeführten epochemachenden Erfindungen nach den Pa-

*) Théorie des machines mues par la force de la vapeur de l'eau. Ouvrage couronnée en 1783 à Petersbourg. Vienne et Strassbourg 1784.

**) Siehe Cap. IV. §. 33 und 36.

***) Manuel du constructeur des Machines à Vapeur, par O. Evans, trad. par Doolittle. Par. 1821. 8.

****) Stuart, Lond. 1824. S. 97.

*****) Siehe Cap. IV. §. 36.

†) Smeaton Reports. London 1797. 4.

††) Siehe Cap. IV. §. 31.

†††) Arago's Biographie von Watt, Annuaire 1838. In den „Unterhaltungen" übersetzt von Grieb. 4. Bd. S. 51.

tenten von 1769, 82 und 84 führte Watt noch eine Reihe anderer Erfindungen aus, die für specielle Zwecke von nicht minderer Bedeutung sind. Dahin gehören namentlich die großen und vielfachen Verbesserungen der Kessel- und Feuerungsanlagen. Watt's Kofferkessel ist bereits beschrieben *). Er erfand (ausgenommen das Sicherheitsventil) fast die ganze Armatur desselben, namentlich den Manometer, den Schwimmer, den selbstthätigen Speiseapparat und eine selbstthätige Feuerregulirung für Niederdruckkessel **). Er verbesserte den Rost, die Feuerzüge und Essen und brachte die ersten Rauchverbrennungsapparate an. Watt schrieb wenig, ein selbstständiges Werk existirt nicht von ihm. Seine Erfindungen legte er in Briefen und Patentbeschreibungen nieder, oder übergab sie der Nachwelt durch selbstgebaute Maschinen. Rein theoretische Untersuchungen hat er nicht angestellt; er suchte seine Ideen sofort zu verkörpern durch praktische Ausführung, wobei ihn seine mechanischen Talente wesentlich förderten. Doch war Watt auch ein sehr geschickter Experimentator, wie seine Versuche an Dampfmaschinen beweisen. Zur Ausführung derselben brachte er den Zählapparat (Compteur) am Balancier, den Manometer an Luftpumpe und Kessel an und erfand den Indicator ***) am Cylinder. Watt gehörte auch zu den Glücklichen, denen nicht nur die volle Anerkennung ihrer Verdienste zu Theil ward, sondern die überdies in reichem Maße die Früchte ihrer Erfindungen einernteten.

§. 61. **Vierte Periode.** Erfindung der Hochdruck- und Expansionsmaschinen und deren Anwendung auf Ortsveränderung bis zur analytischen Vollendung der allgemeinen Theorie der Dampfmaschine. Von Trevithick und Vivian bis de Pambour, 1802 bis 1835.

Die hauptsächlichsten Erfindungen waren bereits gemacht. Es konnte sich nur noch um Ausbildung und praktische Anwendung derselben handeln. Die Aufmerksamkeit richtete sich namentlich auf die ortsverändernden Maschinen, deren Anwendung erst mit der Erfindung der Hochdruckmaschine möglich wurde. Die hauptsächlichsten Verbesserungen und Systeme in der Construction der stehenden Dampfmaschine sind bereits von uns angeführt ****). Ueberdies ist die Anzahl der kleineren Erfindungen unendlich groß, sie geben mehr in die Breite als in die Tiefe. Wir können deshalb um so kürzer sein und uns nur auf die wesentlichsten Momente beschränken. Epochemachend war die neue Theorie der Dampfmaschine von Pambour, mit welcher wir daher diesen Zeitraum am schicklichsten abschließen.

1802. Trevithick und Vivian in England erhalten ein Patent auf die erste ortsverändernde Maschine mit Hochdruck *****).

*) Cap. III. §. 25.

**) Siehe Cap. III. §. 29 und 30.

***) Siehe d. Art. Dynamometer.

****) Siehe Cap. IV. und VIII.

*****) Stuart. S. 164.

1804. A. Woolf in Cornwallis erhält ein Patent auf seine Expansionsmaschine mit 2 Cylindern *).

1807. Der Amerikaner Fulton erbaut das erste Dampfschiff in New-York **). Der „Clermont" lief am 3. Octob. 1807 vom Stapel und vollendete seine Reise nach Alabany (120 Meilen) den Hudson hinauf in 32 Stunden.

1812. Das erste Dampfschiff wird in England von Wood gebaut, der dabei von Bell und Thomson unterstützt wird ***).

1814. Stephenson baut die erste brauchbare Locomotive zum Kohlentransport auf der Darlington-Stockton-Eisenbahn.

1815. Edwards führt die Hochdruckmaschinen mit Expansion in Frankreich ein ****).

1816. Das erste Dampfschiff (Elisa) erscheint in Frankreich.

1817. Das erste amerikanische Dampfschiff passirt das atlantische Meer und fährt bis Petersburg.

1821. Evans baut die erste stationäre Hochdruckmaschine ohne Expansion in Philadelphia zur Bewegung der Wasserwerke *****).

1823. Der Amerikaner Perkins †) erhält ein Patent auf seine Hochdruckmaschine mit Generator ††), der mit dem Dampfdruck von 500 Pfd. per Quadratzoll (35 Atmosphären) arbeitet †††).

1835. Pambour veröffentlicht sein erstes Werk über die Theorie der Locomotive auf Grund seiner Versuche in England. Er entwickelt darin die erste richtige Theorie der Dampfmaschine, die 1838, auf alle Dampfmaschinen ausgedehnt, in Frankreich erschien. Redtenbacher berichtigt und ergänzt die Theorie, namentlich die der Widerstände, 1848 ††††).

Die theoretische wie praktische Ausbildung der Dampfmaschine ist somit als vollendet zu betrachten. Namentlich wird die stationäre Kolbenmaschine keine wesentlichen Aenderungen mehr erfahren. Nur die rotirenden Maschinen, die jetzt wieder sehr in Aufnahme kommen, sind noch einer Verbesserung fähig, so wie umfassende praktische Versuche mit den Dampfmaschinen zur Controle der Theorie wünschenswerth wären. Der Zukunft bleibt nur noch vorbehalten, neue Anwendungen der Dampfmaschine zu erfinden, oder von wesentlich neuen Principien auszugehen. Beides geht vielleicht Hand in Hand. In diesem Fall wird aber die, daraus entstehende Maschine keine Dampfmaschine in unserem Sinne mehr sein.

---

*) Bibl. Britan. T. XXVIII. p. 271. Phil. Mag. T. XIX. p. 133. T. XXIII. p. 123. T. XLVI. p. 43.

**) Marestier u. Buchanan, Treatise on propelling vessels by steam. Lond. 1816. p. 7. — Bristed's Resources of the united states of America. New York 1818.

***) Marestier S. 176 und Buchanan.

****) Siehe Cap. I. §. 16.

*****) Siehe Cap. I. §. 18. — Gill's Technical Repository. T. XXII. p. 249. — Manuel du Constructeur des mach. à vap. par O. Evans. Par. 1821.

†) Siehe d. Art. Dampfgeschütz. S. 204 ff.

††) Art. Dampfgeschütz. S. 207.

†††) Mechan. Magaz. 1823. No. 3 u. 6. — London Journal of Arts and Sc. 1823. No. XXV. p. 36. — 1824. T. I. Ann. Ch. et Ph. T. XXII. p. 429.

††††) Siehe Cap. II. §. 21 u. §. 24 u. Cap. V., VI., VII.

§. 62. Daß die Dampfkraft durch andere, als die bisher angewendeten Principien des Druckes, der Expansion und Condensation, jemals in erhöhtem Grade nutzbar gemacht werden könnte, steht nicht zu erwarten. Dennoch seien die Dampfmaschinen ohne Kolben hier noch kurz erwähnt, obgleich wir die meisten derselben nicht als wirkliche Dampfmaschinen betrachten können.

1) Maschinen ohne Kolben durch Dampfdruck. Hierher gehört die Maschine von Savary, Papin, Bosfrand, Blakey, Desagulier und andere darnach construirte Wasserhebungsmaschinen ohne Kolben.

2) Ohne Kolben, nur durch Condensation und Luftdruck. Maschine von Keir, welche Wasser auf ein Wasserrad hebt *). Maschine von Nancarrow mit getrenntem Condensator, ebenfalls mit Wasserrad **).

3) Maschinen durch Sieden oder Aufsteigen des Dampfes in einer Flüssigkeit bewegt ***). Von Congreve und Prechtl ****). Hierher gehören auch Mastermann's Wasser- und Dampfrad und Bernhard's Maschine *****).

4) Maschinen durch Reaction. Heron 130 v. Chr. und seine Nachfolger, u. A. Kircher 1643, Daslesme 1699, Kempelen 1785, Sadler 1791, R. Trevithick 1813, Craig 1834. Reactionsräder werden namentlich in England jetzt wieder ausgeführt †).

5) Rotirende Maschinen aller Art, nach dem Stoß- und Druckprincip ausgeführt. Von Branca 1629 an, Watt 1782, Dorkin 1803 und eine große Anzahl anderer bis zu Hill's Patent Disk-Engine ††).

Statt des Dampfes hat man endlich auch vorgeschlagen, sich anderer expansibler Flüssigkeiten zu bedienen, die in ihrer Wirkung aber sämmtlich dem Dampf nachstehen. Wir führen folgende an:

6) Explosionsmaschinen. Zuerst von Papin vorgeschlagen, der den Kolben seiner 1. Maschine durch entzündetes Schieß-Pulver bewegte †††). Aehnliches versuchten Newcomen und Savary. Cecil ††††) und Brown †††††) schlugen die Bewegung des Kolbens durch Knallgas vor, welches bei seiner Entzündung und Wasserbildung sodann ein Vacuum erzeugt. Brown nannte seine Maschine deshalb Atmospherical engine. Tredgold *†) beweist die Nachtheile dieser Maschine im Vergleich mit der Dampfkraft.

---

*) Birkbek's Steam engine. p. 70. Prechtl, Techn. Encykl. Bd. II. S. 676.

**) Prechtl, Techn. Encykl. Bd. II. S. 678.

***) Cap. I. §. 1.

****) Prechtl, Techn. Encykl. Bd. II. S. 61, 680. Jahrb. d. polyt. Inst. Bd. I. S. 141.

*****) Polyt. Journal. Bd. XXXIV. S. 415.

†) Siehe Cap. I. S. 242 u. 246. Prechtl a. a. O. Bd. II. S. 687.

††) Dingler hat im Polyt. Journal eine große Anzahl rotirender Maschinen angegeben.

†††) Recueil. 1695. p. 52. — Acta Erud. Lips. 1688. p. 644. Jahrb. d. polyt. Inst. Bd. I. S. 160.

††††) Transact. of the Cambr. Ph. Soc. 1822. T. I. P. II. No. 3.

†††††) Brewster's Ed. Journ. T. II. p. 339. Report of Arts. 1824.

*†) Edinb. Ph. J. N. XXIV. p. 368. — N. XXIII. p. 192.

7) Maschinen, durch atmosphärische Luft bewegt. Entweder sollte die, durch Hitze expandirte Luft benutzt werden, wie in dem Pyréolophore von Niepce *) und in ähnlichen Maschinen von Cagniard-Latour **), Montgolfier und Dayme ***) — deren Nachtheile gegen Wasserdampf Navier ****) gezeigt hat; oder man schlug vor, die Luft durch Maschinen zu comprimiren (Brunel und Herschel) oder zu verdünnen, um den äußeren Atmosphärendruck als Motor zu benutzen. Letzteres ist das Princip, welches Clegg und Samuda bei der atmosphärischen Eisenbahn anwendeten, das sich aber ebenso wenig praktisch bewährte, als die übrigen Vorschläge.

8) Maschinen mit Dämpfen von Alkohol *****), Aether, Chloroform †) und anderen Flüssigkeiten, die bei niedrigerem Siedepunkte als dem des Wassers verdampfen, bieten gleichfalls keinen Gewinn, da der Vortheil, welchen die geringere specifische Wärme dieser Dämpfe für die Brennstoffersparniß verspricht, wieder durch die größere Dichte derselben aufgehoben wird. Prechtl ††) hat bewiesen, daß die mechanische Wirkung des Dampfes dieser Flüssigkeiten für gleichen Brennstoffaufwand um so geringer wird, je größer dessen Dichtigkeit und je geringer ihre specifische Wärme wird.

9) Maschinen mit comprimirter Kohlensäure und anderen Gasarten, welche bei niedriger Temperatur und hohem Druck tropfbar flüssig werden und sodann bei geringer Erhöhung der Temperatur sich mit großer Gewalt ausdehnen. Schon Davy †††) schlug vor, solche comprimirte Gasarten als mechanisches Mittel statt des Dampfes zu brauchen. In neuester Zeit hat der Amerikaner Salomon in Cincinnati diese Benutzung der Kohlensäure wieder vorgeschlagen und an Modellen ausgeführt ††††). Prechtl hat aber bereits bewiesen †††††), daß die Dämpfe der, durch Compression erhaltenen flüssigen Kohlensäure einen mindestens ebenso großen Brennstoffaufwand erfordern, als die Wasserdämpfe — wobei der zur Compression nöthige Kraftaufwand, so wie die Gefahr bei dieser Operation im Großen, wohl zu berücksichtigen ist.

Aus Allem geht hervor, daß die Anwendung des Wasserdampfes und die Construction der bis jetzt gebräuchlichen Dampfmaschinen noch nicht durch ein anderes motorisches Princip verdrängt werden konnte und wohl noch lange Zeit ihren ersten Platz, als Schöpfer und Hebel der modernen Industrie, behaupten wird. Es giebt in der That keinen andern Motor, welcher in der Gegenwart einer so universellen Anwendung und Verbreitung fähig wäre, als die Dampfmaschine. Der Grund liegt erstens darin, daß die Dampfmaschine an jedem Orte und zwar ununterbrochen und regelmäßig arbeitet. Dies leistet bis jetzt kein

*) Mém. de l'Inst. T. VIII. p. 146.
**) Prechtl, Techn. Encykl. Bd. II. S. 67 u. 681.
***) Prechtl, Jahrb. d. polyt. Inst. Bd. I. S. 134. Repertory of Arts and Manuf. 1818. Apr.
****) Ann. de Ch. et Phys. T. XVII. p. 357.
*****) Edinb. Journ. of Science. N. V. p. 101.
†) Machines à vapeur combinées. Delaunay, Mécan. T. II. §. 443.
††) Techn. Encykl. S. 690 u. 691.
†††) Phil. Trans. 1823. T. II. p. 199.
††††) „Kohlensäure statt Wasserdampf als bewegende Kraft" von Berg. Frankfurt 1852.
†††††) Jahrb. d. polyt. Inst. Bd. IX. S. 106.

anderer Motor. Die Wasserkraft namentlich ist an den Ort gebunden und läßt sich nicht verpflanzen, dabei ist sie auch nur periodisch nutzbar. Das Letztere gilt vom Wind in erhöhtem Grade. Thierkräfte sind zu gering und können nie ununterbrochen arbeiten. Der Electromagnetismus endlich kann als Concurrent noch in keiner Weise auftreten.

Der zweite Grund für die Universalität der Dampfmaschine ist, daß diese Maschine von jeder beliebigen Kraft und Größe hergestellt werden kann und dabei einen verhältnißmäßig kleinen Raum einnimmt. Man baut gegenwärtig Maschinen von der Kraft eines Pferdes bis zu 1000 Pferden mit gleicher Genauigkeit. Die Kraft einer jeden Maschine läßt sich beliebig regeln und kostet nur Unterhalt, so lange sie arbeitet, während namentlich die Wasserkraft dann am meisten kostet, wenn sie nicht arbeiten kann (im Winter, bei Eisgang, bei Ueberschwemmung ꝛc.).

Weil also die Dampfmaschine unabhängig und anhaltend mit jeder beliebigen Kraft arbeitet, wo und wie wir wollen, so folgt drittens daraus, daß sie sowohl für den Betrieb der Fabriken und Werkstätten, als für den der Landwirthschaft und des Bergbaues und ebenso vortheilhaft für den Zweck der Ortsveränderung benutzt werden kann: daß folglich die Dampfmaschine direct oder indirect fast jede mechanische Veränderung hervorzubringen oder zu vermitteln im Stande ist. Darum begann die Industrie eine neue Epoche mit der Einführung der Dampfmaschine, ebenso wie die Mechanik mit der Erfindung derselben in ein neues Stadium trat.

§. 63. Die Anwendung und Verbreitung der Dampfmaschine steht mit der Geschichte der Erfindung und Vervollkommnung derselben im innigsten Zusammenhange. Bei der anfänglichen Unvollkommenheit der Construction war die Maschine nur zum Wasserheben zu benutzen. Vor Watt war die Dampfmaschine eine Maschine von beschränkter Kraft und geringem Nutzeffect und stand hinter der Wasserkraft zurück.

Eine der ersten Savary'schen Maschinen ließ Peter der Große 1718 nach Petersburg kommen, zum Betrieb der Wasserkünste in seinen Gärten *). Trotz allen Verbesserungen, die bis in die neuere Zeit reichen, wurden diese Maschinen nirgends sehr verbreitet, doch führen Colladon und Championnère **) noch 5 Maschinen an, die sie in Frankreich gekannt haben.

Newcomen's Maschine erhielt gleich anfangs größere Verbreitung, doch blieb sie hauptsächlich Schöpfmaschine für Bergwerke, ein Dienst, den sie in Kohlenschachten noch jetzt versieht. 1722 kam schon die erste Newcomen'sche Maschine nach Königsberg in Ungarn ***), zwei andere nach Kassel und Wien ****). In London wurde eine der ersten zum Heben des Wassers aus der Themse benutzt *****). Von 1744 wurden sie schon in Frankreich erbaut, namentlich zu Fresne bei Condé †), 1760 im britischen Amerika eingeführt.

---

*) Leupold, theat. mach. hydr. T. II. §. 202.

**) Ann. de Ch. et Ph. T. LIX. p. 24.

***) Leupold, theat. mach. hydr. Tab. LII., LIII.

****) Gehler, Bd. V. S. 218.

*****) Leupold, Tab. XLIV. Weidler, Tractat. de Mach. hydr. Viteb. 1728. John Allen, Narrative, cet. Lond. 1730.

†) Belidor, Arch. hydr. Par. 1737. Vol. IV. T. II. p. 308.

Die Watt'schen einfach wirkenden Maschinen wurden wegen ihrer großen Kohlenersparniß sogleich in vielen Bergwerken von Cornwallis eingeführt, wofür die Besitzer dem Erfinder $1/3$ der Kohlenersparniß als Tribut zahlen mußten. Perrier stellte die erste Maschine 1790 zu Chaillot bei Paris auf *). 1788 wurde die erste Maschine von Bückling in Deutschland erbaut, die zweite Maschine kam nach Schönebeck bei Magdeburg **). Es existiren noch jetzt alte Watt'sche einfach wirkende Maschinen, doch wurden sie später durch die einfach und doppelt wirkenden Cornwallmaschinen verdrängt, welche im Nutzeffect alle übrigen Maschinen jetzt übertreffen.

Die Watt'schen doppelt wirkenden Maschinen brachten eine allgemeine Umwälzung im Gebrauche der Dampfmaschine und einen neuen Aufschwung in der Industrie hervor. Bis zum Frieden 1814 verbreiteten sich die Maschinen zwar nur langsam und hauptsächlich nur in England. 1778 baute Watt zu Soho bei Birmingham die erste, Glasgow erhielt die erste 1792. Bis zum Schluß des vorigen Jahrhunderts waren in England 30 Patente auf Dampfmaschinen ertheilt, bis 1830 wurden aber über 200 ertheilt ***). Seit 1814 ging die Verbreitung sehr rasch vor sich. 1822 befanden sich bereits 10000 Dampfmaschinen in Großbritannien, welche die Arbeit von 200000 Pferden verrichteten ****). Frankreich hatte um dieselbe Zeit erst 300 Dampfmaschinen und 1842 erst 2807, aber 170 Locomotiven und 300 Dampfschiffe. 1804 kam die erste Watt'sche Maschine nach Trinidad, 1812 nach Peru. Später kamen sie auch nach Ostindien, zuerst nach Ceylon. 1803 arbeiteten in Lüttich schon 8 Maschinen. Bis 1842 zählte man in Amerika 3184 Dampfmaschinen, wobei 800 Schiffsmaschinen und 300 Locomotiven waren. In den übrigen Ländern, selbst in Europa, verbreitete sich die Dampfmaschine langsamer. Doch zählte Oesterreich 1840 schon 253 Dampfmaschinen, Sachsen 1845 schon 130 u. s. f. Eine genauere Statistik gehört nicht hierher. England nimmt in der Zahl der Maschinen und Pferdekräfte den 1. Platz ein, ihm folgt Frankreich, dem jetzt Nord-Amerika den Rang abgelaufen hat, dann folgen Deutschland und die Niederlande.

Um schließlich eine Uebersicht zu geben von den verschiedenen Anwendungen der Dampfmaschine, diene folgendes allgemeine Schema, das ins Einzelne zu verfolgen uns hier nicht gestattet ist.

I. Stationäre oder Landmaschinen.

1) Zum Bergbau und Hüttenbetrieb. Besonders:

a) zum Betrieb der Pumpwerke aller Art;

b) Fördermaschinen und Aufzugsmaschinen;

c) Gebläse und Ventilationsmaschinen.

---

*) Prony, Archit. Hydraul., übers. von Langsdorf. Bd. II. 1801.

**) Lichtenb. Mag. T. IX. p. 2. 106.

***) Partington, Account of the steam engine. London 1822. Galloway, history. Lond. 1826.

****) Partington, S. XIV. Stuart, S. 192.

2) Fabriksmaschinen.

a) Mit directer Benutzung der Dampfmaschine, als: Centrifugalmaschinen (rotirend), Gebläse, Schleifmaschinen, Sägen, Pochwerke, Hämmer 2c.

b) Mit indirecter Benutzung, wobei die Maschine nur zur Hervorbringung der rotirenden Bewegung der Transmissionen dient. Die Anwendung dieser Maschinen in Fabriken und Werkstätten ist außerordentlich groß. Es seien nur beispielsweise die Spinnereien, Webereien, Maschinenfabriken, Mühlen, Münzen, Druckereien, Papierfabriken, Walzwerke und Hammerwerke hervorgehoben.

c) Mit besonderer Construction für einzelne Zwecke. Hier ist dem Erfindungsgeist noch das größte Feld eröffnet, da viele Operationen durch directe Dampfkraft bewirkt werden können. Wir erwähnen beispielsweise: Dampfpresse, Dampfpumpe, Dampfbremse, Dampfhammer, Dampframme, Niethmaschine, Scheere 2c., bei welchen sämmtlich der directe Dampfdruck statt der Gewichte, Hebel, Räder 2c. wirkt.

3) Maschinen für chemische und landwirthschaftliche Zwecke.

a) Für chemische Fabriken und den Hüttenbetrieb.

b) Für Zuckersiedereien, Brauereien, Brennereien 2c.

c) Für Dreschmaschinen, Mühlen 2c., und zur Vermittelung aller übrigen landwirthschaftlichen Operationen.

II. Maschinen für Ortsveränderung oder Transportmaschinen.

1) Transport zu Land.

a) Locomotive auf Eisenbahnen und Chausséen.

b) Locomobilen, oder transportable Dampfmaschinen.

c) Rampenmaschinen für schiefe Ebenen.

2) Transport zu Wasser.

a) Dampfschiff mit Ruderrädern (Steamer).

b) Schraubendampfschiffe (Propeller).

c) Dampffähren und Baggermaschinen.

Die Literatur der Dampfmaschine ist sehr umfangreich. Wir führen hier noch einige der vorzüglichsten Werke an, sofern dieselben nicht schon im Verlauf des Artikels angezogen sind.

Für die Geschichte der Dampfmaschinen ist aus den bereits citirten Werken hervorzuheben: Stuart, Histoire de la machine à feu; Robison's, System of mechan. Philosophy, Art. Steam; Bourne's Treatise; Arago (Annuaire 1829, 1837, 1838). Partington, account of the steam engine, Gren, (N. J. Bd. I. S. 62 u. 114.) Nicholson, (J. Bd. I. S. 419.) Russell, (Ed. New Phil. Journ. N. XLVII. p. 35.) Ainger, (Quarterly Journ. of Sc. New Ser. N. X. p. 322) und die meisten der nachfolgenden Werke in der Einleitung.

Aeltere Werke über Dampfmaschinen der früheren Perioden: Papin, Recueil 1695 und Ars nova 1707. Leupold, theatrum mach. hydr. 1724. Zyl, theatr. mach. 1734. Horst, theat. mach. 1736. Belidor, arch. hydraul. 1736—53. Poda, Beschreib. d. Bergw. zu Schemnitz 1771. Delius,

Beschreib. d. Feuermaschine. Cancrinus, Bergmaschinenkunst 1777. Prony, nouvelle arch. hydr. 1790. Woltmann, Untersuchungen 1804. Royal Encyclopaedie 1791. Bossut, traité d'hydrodynamique 1792. Borgnis, traité complet 1818—21. Christian, mécan. industr. 1822—25. Birbeck and Adcock, steam engine 1827. Farey, steam engine 1828. Bezaine, (Mém. de l'Ac. d. Petersbourg. VI. II. III.) Dufour, (Bibl. Brit. T. XXXIV. p. 20.) Fourier, Mém. sur la puissance mécanique de la vapeur 1827. Tredgold u. Mellet, steam engine 1828. Barlow, treatise on the manufactures of Gr. Brit. Verdam, Grundsätze ꝛc., übers. von Schmidt. Severin, Beiträge ꝛc. 1826.

An neueren Werken ist zu empfehlen: Die neue Ausgabe von Tredgold mit 7 Nachträgen von Galloway, Pole ꝛc. 1849. Wicksteed, Cornish Engine 1849. Alban, Hochdruckmaschine 1843. Adcock, rules and data for the steam engine 1849. Bourne, treatise by the Artizan Club. 1846. Bataille et Jullien, traité sur les mach. à vap. Uebers. von Hartmann in neuer Bearbeitung 1850. Bernoulli, Dampfmaschinenlehre 1847. Reech, mémoire 1844. Hodge, steam engine. New York 1840. Mathias, études 1845 und eine große Sammlung von Beschreibungen und Patenten, namentlich in Dingler's Polyt. Journal von allen Jahrgängen. Dieses beginnt mit der Beschreibung von Edward's Dampfmaschine (Bd. I. S. 129), und sammelt fortwährend aus allen englischen und französischen Journalen die Notizen über Dampfmaschinen. Richard Pohl.

Dampfschiff, siehe d. Art. Dampfmaschine und Schiff.

Dampfwagen, siehe d. Art. Locomotive und Dampfmaschine.

Dasymeter ist ein von Guericke angegebenes Instrument, welches den Zweck hat, die veränderliche Dichte der atmosphärischen Luft wahrnehmbar zu machen. Es beruht auf der Erfahrung, daß ein Körper in der atmosphärischen Luft von seinem Gewichte so viel verliert, als die Luftmenge wiegt, welche er verdrängt. Eine Hohlkugel wird, nachdem aus ihr die Luft gepumpt worden, an dem einen Ende eines empfindlichen Wagebalkens mit einem Gegengewichte ins Gleichgewicht gesetzt. Das letztere nimmt man so klein als möglich, da auch von ihm ein Theil durch die Luft getragen wird, aber natürlich um so weniger, je geringer sein Volumen ist. Sobald nun die Luft dünner wird, muß sich die Kugel herabsenken, also einen Ausschlag des Wagebalkens bewirken, und zwar deshalb, weil die durch die Kugel verdrängte Luft jetzt weniger als vorher wiegt. Das Gegentheil erfolgt, wenn die Dichte der Luft zunimmt. Der Wagebalken dieses Instrumentes ist mit einem Zeiger versehen, welcher die verschiedenen Grade der Dichte der Luft auf einer kreisbogenförmigen Scale angiebt. Die Abtheilungen der letzteren können bestimmt werden, indem man auf der einen oder anderen Seite nach und nach kleine Gewichte auflegt und dabei jedesmal an dem Bogen den Punkt markirt, auf welchen die Zunge hinweist.

Der Name Dasymeter ist etwas ungeschickt von dem griechischen δασύς hergeleitet, das eigentlich nicht dicht, sondern vielmehr dicht besetzt, buschig bedeutet. Guericke selbst nannte sein Instrument Manometer.

Daturin, s. Basen, organische.

Decrepitiren, Abknistern, nennt man das durch Erwärmung herbeigeführte und von einem knisternden Geräusch begleitete Zerspringen der Krystalle,

wenn diese mechanisch, zwischen ihren Lamellen, Wasser einschließen. Viele krystallisirte Salze enthalten solches sogenanntes Decrepitationswasser. Ein Kalisalpeterkrystall decrepitirt schon durch die Handwärme und gemeines Kochsalz verknistert sehr lebhaft, wenn es auf eine erhitzte Platte geworfen wird. Das mechanisch eingeschlossene Wasser dehnt sich aus oder verwandelt sich in Dampf und bewirkt dadurch ein Zerplatzen der Umhüllung.

Deflagrator, s. Galvanismus.

Dehnbarkeit, Streckbarkeit, Geschmeidigkeit, Zähigkeit, Hämmerbarkeit, Ductilität (lat. ductilitas; franz. ductilité; engl. ductility), heißt diejenige Eigenschaft, welche die Körper in verschiedenem Grade besitzen, vermöge deren sie in ihrer Form und der Anordnung ihrer Theile verändert werden können, ohne daß ein Zurückgehen in die frühere Form stattfindet (siehe Elasticität) und ohne daß ein Zerreißen eintritt. Es giebt sowohl weiche als harte Körper, welche sich durch Dehnbarkeit auszeichnen. Die Hämmerbarkeit, Streckbarkeit, Ziehbarkeit, Geschmeidigkeit sind besondere Formen der Dehnbarkeit, wie schon durch die Worte selbst angedeutet ist. Diejenigen Körper, welche gar nicht, oder nur in sehr geringem Grade dehnbar sind, heißen spröde, und überhaupt heißen die Körper desto mehr oder weniger spröde, je weniger oder mehr sie dehnbar sind. Im Allgemeinen pflegt die Wärme die Dehnbarkeit der Körper zu erhöhen. Manche Körper, welche bei gewöhnlicher Temperatur spröde sind, werden in einer höheren Temperatur dehnbar, z. B. Zink, Wachs, Schellack, Siegellack ꝛc. Bei manchen Körpern liegt der Punkt, wo sie dehnbar werden, nahe am Schmelzpunkte derselben, z. B. beim Glase. Das Zink ist bei einer Temperatur unter der des siedenden Wassers spröde; in einer Temperatur von 80° bis 120° R. wird es so dehnbar, daß es sich zu dünnsten Blechen, wie das feinste Postpapier, walzen läßt und behält dann sogar auch bei niedrigeren Temperaturen einen hohen Grad von Elasticität und Biegsamkeit. Erhitzt man das Zink bis zu 164° R., so ist's noch spröder, als es war, da es sich in einer Temperatur von weniger als 80° R. befand. Es läßt sich dann in einem Mörser zu Pulver stampfen. Altmüller*) hat sehr feinen Draht aus Zink gezogen, nach Gilbert's Schätzung, von $\frac{1}{240}$ Zoll Durchmesser. Besonders merkwürdig ist es, daß zuweilen ein Gemisch von zwei leicht dehnbaren Metallen schwer dehnbar oder spröde ist, und dagegen ein Gemisch von leicht dehnbaren mit schwer dehnbaren Metallen leicht dehnbar. Z. B. giebt das dehnbare Kupfer mit dem dehnbaren Zinn die spröde Glockenspeise, und bei anderen Mischungsverhältnissen ein gutes Spiegelmetall; dagegen das Kupfer mit dem spröden Zink das sehr dehnbare Messing. Das weiche Schmiedeeisen ist für sich zähe und dehnbar; wird es mit wenig Kohlenstoff verbunden, so verwandelt es sich in Stahl, welcher hart, dabei aber zähe und dehnbar ist; mit noch mehr Kohlenstoff verbunden, wird es Roheisen oder Gußeisen, welches in hoher Temperatur und mehr noch in niederer, spröde ist; mit etwas Phosphor verbunden, ist es in niederer Temperatur spröde und brüchig und heißt daher kaltbrüchiges Eisen; mit wenig Schwefel verbunden, ist es in der Rothglühhitze sehr spröde und heißt rothbrüchiges Eisen.

---

*) Gilb. Ann. Bd. VIII. S. 436.

Wenn man einen Körper zu zerreißen oder zu zerdrücken strebt, so setzt er dem einen gewissen Widerstand entgegen, welcher Anfangs so groß ist, daß, sobald die Zieh- und Druckkräfte, welche seine Form verändert hatten, zu wirken aufhören, er in seine frühere Gestalt zurückgeht. So lange dieses der Fall ist, hat man die Grenze der Elasticität des betreffenden Körpers noch nicht erreicht; diese ist erreicht, der Körper beginnt sich zu strecken, zu dehnen, sobald er unter dem Einfluß der Zieh- oder Druckkräfte seine Gestalt bleibend verändert, d. h. nicht mehr in die frühere Form zurückgeht, wenn die Kräfte zu wirken aufhören. Man kann nun die Druck- oder Ziehkräfte immer weiter erhöhen, endlich tritt der Fall ein, daß der gezogene Körper zerreißt, der gedrückte auseinander getrieben wird, kurz, daß der Zusammenhang der Bestandtheilchen des Körpers bleibend aufgehoben wird. Die Grenze der Elasticität und die Aufhebung der Cohärenz der Bestandtheile sind die Grenzen, innerhalb welcher die Körper dehnbar sind. Nach Baumgartner*) kann man die Grenze der Dehnbarkeit durch die Zahl ausdrücken, welche man erhält, wenn man die Dehnung (Längenzunahme), welche der betreffende Körper bis zum erfolgenden Zerreißen erfährt, durch die ursprüngliche Länge desselben dividirt. Wahrscheinlich, sagt Baumgartner, giebt es eine bestimmte Relation zwischen dieser Zahl und der Elasticitätsgrenze; für Eisen glaubt Lagerhjelm**) eine solche gefunden zu haben; es ist nämlich das Product aus der Elasticitätsgrenze in die Quadratwurzel der Dehnbarkeitsgrenze eine constante Größe. Je nach den verschiedenen Arten, in welchen man die Dehnbarkeit eines Körpers untersucht, unterscheidet man verschiedene Arten derselben. Im Allgemeinen findet stets entweder, wie beim Drucke, eine Zusammentreibung der Bestandtheilchen des untersuchten Körpers statt, oder, wie beim Ziehen, ein Auseinandertreiben dieser Bestandtheilchen, oder endlich (und dies ist der häufigste Fall) zugleich Zusammentreibung in der einen Richtung, Auseinandertreibung in anderer. Es giebt eine Anzahl von Körpern, welche sich bei gewöhnlicher Temperatur schon mit den Fingern, oder doch durch niedrige Druckkräfte beliebig formen lassen, wie feuchter Thon, Glaserkitt, Wachs; solche nennt man bildsam, plastisch. Andere nehmen unter stärkerem Drucke, Stoßen, Hämmern, Walzen ꝛc. eine andere beliebige Gestalt an, man bezeichnet die Dehnbarkeit, wie sie in diesem Falle auftritt, als Streckbarkeit, Schmiedbarkeit, Hämmerbarkeit. Hierbei werden die Bestandtheile gegen einander getrieben, die Substanz wird dichter, zugleich agirt aber der Widerstand der Bestandtheile nach den Seiten und es erfolgt nach diesen hin eine Ausdehnung. Anders verhält es sich beim Drahtziehen. Hier werden die Bestandtheile vorzugsweise aus einander gezogen, jedoch erfolgt gleichzeitig auch eine Zusammenpressung der Bestandtheile von Außen nach Innen, weil die Drähte durch immer engere Löcher hindurch gezogen werden. Die Verdichtung, welche hier stattfindet, hält sich in den meisten Fällen, wo Metalle zu Drähten verarbeitet werden, innerhalb der Grenzen der Elasticität. Man sieht dies daraus, daß die Metalldrähte, mit Ausnahme der goldenen, nachdem sie gezogen sind, nicht mehr durch das engste Loch, durch welches sie zuletzt gezogen wurden, sich wieder bequem hindurch ziehen lassen.

*) Baumgartner's Naturlehre. Achte Aufl. S. 120.
**) Ueber die Dichtigkeit, Elasticität und Stärke des gewalzten und geschmiedeten Eisens. Stockholm 1827.

Besondere Beachtung verdient in Beziehung auf diesen Gegenstand die Bemerkung, daß Drähte, welche nach dem Ziehen längere Zeit gespannt erhalten werden, ein krystallinisches Gefüge annehmen und an Haltbarkeit verlieren, so daß sie mit der Zeit reißen. Hierauf wird überall Rücksicht zu nehmen sein, wo es darauf ankommt, schwere Körper dauernd an Drähten oder Drahtseilen aufzuhängen. Baudrimont *) hat gefunden, daß die Verdichtung, welche Drähte durch die Operation des Ziehens an der Oberfläche auch senkrecht auf ihre Längenaxe erfahren, zugleich mit einer Erhöhung der Sprödigkeit verbunden ist. Diese Sprödigkeit wird wieder aufgehoben, wenn man das Metall nach dem Ziehen wieder ausglüht.

Die Benutzung der Metalle zu technischen Zwecken beruht hauptsächlich auf ihrer Dehnbarkeit, daher beziehen sich auch die meisten Versuche, welche über die verschiedenen Erscheinungsweisen der Dehnbarkeit angestellt worden, vorzugsweise auf Metalle. Man pflegt im Allgemeinen die Metalle in geschmeidige und spröde einzutheilen. Zu jenen rechnet man: Gold, Silber, Platin, Palladium, Kupfer, Zinn, Eisen, Blei, Kadmium, Zink, Nickel, Quecksilber, Kalium, Natrium; zu diesen: Antimon, Wismuth, Kobalt, Mangan, Tellur, Chrom, Tantal, Titan, Molybdän, Wolfram, Rhodium, Uran, Cerium. Temperaturveränderungen und chemische Beimischungen ändern, wie wir sogleich näher sehen werden, die relative Dehnbarkeit dieser Metalle sehr bedeutend ab. Beim Auswalzen sollen die Metalle sich als mehr oder weniger dehnbar nach folgender Reihenfolge erweisen: Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Platin, Blei, Zink, Eisen, Nickel, Palladium, Kadmium. Dagegen soll in Bezug auf das Ausziehen zu Draht folgende Reihenfolge den Grad der Dehnbarkeit charakterisiren: Gold, Silber, Platin, Eisen, Kupfer, Zink, Zinn, Blei, Nickel, Palladium, Kadmium **). Regnault ***) stellt in der letzten Beziehung folgende Reihe auf: Gold, Silber, Platin, Eisen, Nickel, Kupfer, Zink, Zinn, Blei.

Um die Metalle zu dünnen Blättern, zu Blech, auszuplatten, bedient man sich entweder der Hammerwerke oder der Walzwerke. — Das Walzwerk besteht aus zwei metallischen Cylindern, die horizontal über einander liegen. Man läßt diese Cylinder mit gleicher Geschwindigkeit sich drehen, den einen links, den andern rechts herum. Die Cylinder lassen sich in verschiedener Weite von einander aufstellen; doch einmal gestellt, halten sie die gegebene Stellung unverrückt ein. Man stellt sie in einem etwas geringeren Abstande von einander fest, als die Dicke der Platte beträgt, die man erhalten will. Man bringt nun die Platte, welche man zuvor an dem einen Rande soweit verdünnt hat, daß man sie zwischen die beiden Cylinder einführen kann, zwischen dieselben. Sie ist nun gezwungen, der Bewegung der Cylinder zu folgen und sich also so stark auszubreiten, daß sie nur eine Dicke behält, welche dem Abstande der Cylinder gleich ist. Man stellt die Cylinder darauf näher und läßt die Platte nochmals durchgehen, so erhält man immer dünnere Bleche. — Einige Metalle lassen sich schon kalt auswalzen, andere müssen vorher mehr oder weniger erhitzt werden. Während das Metall so gezwungen wird, sich auszuplatten, erleidet es eine merkliche Veränderung in der Anordnung seiner Molecüle, wodurch oft seine physikalischen Eigenschaften bedeutend verändert werden,

---

*) Annal. de chim. et de phys. T. LX. p. 78.

**) Vergl. Duma, Handbuch der Chemie. Weimar 1831. Bd. II. S. 12.

***) Lehrbuch der Chemie, übers. von Boedeker. Abth. II. S. 538

vorzüglich aber seine Geschmeidigkeit. Es wird härter und spröder; setzte man das Walzen weiter fort, so würden die Bleche unfehlbar zerspringen und zerreißen. Man sagt dann, das Metall hat sich gehärtet. Man giebt ihm dann seine frühere Streckbarkeit dadurch wieder, daß man es zum Rothglühen erhitzt und langsam erkalten läßt. Bei dieser Operation, dem Ausglühen des Metalles, nehmen die Molecüle unter dem Einflusse der Wärme wieder ihre normale Lage gegen einander an, und man kann die Bleche dann von neuem durch die Walzen gehen lassen.

Gewisse Metalle lassen sich in die Form von sehr feinem Draht bringen. Nur geschmeidige Metalle bieten diese Eigenschaft dar, aber auch diese nur dann, wenn sie zugleich einen gewissen Grad von Zähigkeit besitzen, so daß sie nicht zerreißen durch die Kraft des Zuges, der man sie unterwerfen muß, um sie zu Draht auszuziehen. Der Drahtzug besteht aus einer Stahlplatte, worin sich kreisrunde Löcher befinden, deren Durchmesser der Reihe nach kleiner und kleiner werden. Die Ränder dieser Löcher sind scharf geschliffen. Man giebt dem Metallstabe, welchen man ausziehen will, einen nur wenig größeren Durchmesser, als den des weitesten Loches im Drahtzuge, Nr. 1. Das eine Ende des Stabes ist soweit verdünnt, daß man es durch das Loch Nr. 1 durchstecken kann, dieses Ende wird dann von einer Zange erfaßt und so der Stab mit einem gleichförmigen und kräftigen Zuge durch das Loch hindurchgezogen. Nothwendig muß sich der Stab dabei verlängern und verdünnen. Man läßt ihn dann nach einander durch die stets engeren Löcher Nr. 2, 3, 4 rc. hindurchgehen. Die Metalle härten sich bei dieser Operation, wie beim Walzen, weshalb sie von Zeit zu Zeit wieder ausgeglüht werden müssen, um ihnen ihre frühere Streckbarkeit wiederzugeben. Sehr reine Metalle und gewisse Legirungen lassen sich so in sehr feinen Draht ausziehen. Die äußerste Feinheit kann man indessen auf diese Weise den Drähten nicht geben, weil nämlich ein Punkt eintritt, wo die Zähigkeit des dünnen Drahtes nicht mehr groß genug ist, um der zum weiteren Ausziehen erforderlichen Kraft des Zuges widerstehen zu können und also nicht zu zerreißen. Mit Hülfe verschiedener sogleich näher anzugebender Kunstgriffe kann man indessen noch viel feinere Drähte erhalten *).

Das Gold scheint beinahe bis ins Unendliche dehnbar. Es ist von allen Metallen das geschmeidigste und im reinen Zustande ist es fast ebenso weich wie Blei. Wenn man es zusammenschmiedet, so wird es hart und das legirte Gold erhält Risse, wenn es weiter geschmiedet wird. Um es daher zu der gehörigen Dünne schmieden zu können, muß es von Zeit zu Zeit geglüht werden. Nach Réaumur **) kann das Gold von den Goldschlägern so dünn geschlagen werden, daß ein Grain oder $\frac{1}{576}$ Unze des von ihm mit Sorgfalt gewogenen und gemessenen Goldblattes $36^2/_3$ Quadratzoll bedeckte. Da hiernach eine Unze $4 \times 36^2/_3 = 146^2/_3$ Quadratfuß bedeckt und ein Cubikfuß Gold nach der Angabe Réaumur's 21220 Unzen wiegt, so ist die mittlere Dicke des Goldblattes $\frac{1}{21200 \,.\, 146^2/_3}$ Fuß oder $\frac{144}{21220 \,.\, 146^2/_3} = \frac{1}{21662}$ Linien, wornach Réau-

*) Vergl. Regnault, Lehrb. der Chemie. Uebers. von Boedeker. Abth. II. S. 530.
**) Mém. de l'Acad. 1713. p. 199.

nur die dünneren, mehr durchscheinenden Stellen weniger als $\frac{1}{30000}$ Linien dick annimmt. Diese außerordentliche Feinheit wird aber noch übertroffen durch die geringe Dicke des Goldhäutchens, mit welchem der zu den Lyoner Tressen verwandte Silberdraht überzogen ist. Nach Réaumur wird zur Bereitung dieses Drahtes eine 22 Zoll lange und 15 Linien dicke Silberstange, welche 45 Mark wiegen soll, höchstens mit 6, gewöhnlich aber mit 2 oder 1 Unze, besonders zu diesem Zweck bereiteten Goldblattes überzogen, darauf in den Drahtzug gebracht, und hier so lange durch immer feinere Löcher gezogen, bis der Draht, welcher bei gehöriger Behandlung auf seiner ganzen Länge vergoldet bleibt, die verlangte Feinheit erhalten hat. Dieser Draht wird dann noch, ehe er um Seide gesponnen wird, zwischen zwei polirten Stahlwalzen plattgedrückt, bis er die Breite von $^1/_8$ Linie erlangt hat, wodurch er zugleich um $^1/_7$ an Länge gewinnt. Nach den Wägungen und Messungen Réaumur's war $^1/_2$ Gros des noch nicht gewalzten feinsten Drahtes 202 Fuß, also 1 Unze $16 \times 202 = 3232$ Fuß lang. Wird nun durch Plätten die Breite dieses Drahtes bis zu $^1/_8$ Linie ausgedehnt und dadurch gleichzeitig die Länge um $^1/_7$ vermehrt, so beträgt die Dicke des geplätteten Drahtes, wenn man den Querschnitt desselben als ein Rechteck betrachtet und das Gewicht eines Cubikfußes Silber mit Réaumur gleich 11523 Unzen annimmt, $\frac{1728 \,.\, 1728}{11523 \,.\, 3232 \,.\, ^8/_7 \,.\, 144 \,.\, ^1/_8} = \frac{1512}{387941}$ oder fast $\frac{1}{256}$ Linien. Hieraus berechnet dann Réaumur die mittlere Dicke des Goldhäutchens für den Fall, daß zur Vergoldung der Silberstange 2 Unzen Gold genommen wären, zu $\frac{1}{175000}$ Linien, so daß die dünneren Stellen nach seiner Annahme noch nicht $\frac{1}{262500}$ Linie Dicke haben würden. Wäre demnach zur Vergoldung, wie es gewöhnlich geschieht, nur eine Unze Gold verwandt, so betrüge die Dicke des Goldhäutchens an den dünneren Stellen noch nicht $\frac{1}{500000}$ Linie, und da Réaumur wohl mit Recht vermuthet, daß die Breite des Drahtes, ohne das Goldhäutchen zu zerreißen, durch ferneres Walzen auch bis auf $^1/_4$ Linie gebracht werden könne, so würde die Dicke des Häutchens selbst bis auf weniger als 1 Milliontel Linie gebracht werden können. Von der Continuität des Goldhäutchens überzeugte sich Réaumur dadurch, daß er den Draht in Scheidewasser legte, welches das Silber auflöste, das Gold aber, wie fein auch der Draht sein mochte, in Gestalt einer hohlen durchaus continuirlichen Röhre zurückließ. Zu diesen Untersuchungen Réaumur's macht Röber *) folgende Bemerkung über eine wesentliche Unbestimmtheit in den Angaben. Der cubische Inhalt eines Cylinders von 22 Zoll Länge und 15 Linien Dicke ist $22\left(\frac{1^1/_4}{2}\right)^2 . \pi = 26{,}998$ oder sehr nahe 27 Cubikzoll, mithin der Inhalt der obigen Silberstange $\frac{27}{1728} = \frac{1}{64}$ Cubikfuß und das Gewicht derselben

*) Handwörterbuch der Chemie und Physik. Bd. I. S. 565.

$\frac{11523}{64} = 180^3/_4$ Unzen oder fast $22^1/_2$ Mark. Da dieses Gewicht gerade die Hälfte des von Réaumur angegebenen Gewichtes ist, so ist entweder in der Angabe des Gewichtes oder der der Dimensionen ein Irrthum vorgefallen. Nehmen wir $22^1/_2$ Mark als das richtige Gewicht der Silberstange an, so wird sich die Dicke des Goldhäutchens doppelt so stark als nach der Rechnung Réaumur's ergeben. Für die schwächste Vergoldung, mit 1 Unze, ist nämlich das Gewicht des Goldes $\frac{1}{180}$, also das Volumen desselben $\frac{1}{180} \times \frac{11523}{21220} = \frac{1}{332}$ von dem des Silbers. Setzen wir nun den Querschnitt des Drahtes gleich einem Rechteck von den Seiten a und b, die Dicke des Goldhäutchens (überall als dieselbe angenommen) gleich x; so ist $(a + 2x)(b + 2x) - ab = \frac{1}{332} ab$, oder, wenn wir die zweite Potenz von x vernachlässigen, $2x(a + b) = \frac{1}{332} ab$, also

$$x = \frac{ab}{2.332(a+b)} = \frac{\frac{1}{256} \cdot \frac{1}{8}}{2.332.\left(\frac{1}{256} + \frac{1}{8}\right)} = \frac{1}{2.332.33.8} = \frac{1}{175296}$$

Linien, also gleich der Dicke, welche Réaumur für eine doppelt so starke Vergoldung gefunden hat. Noch ist zu bemerken, daß Réaumur nicht, wie man zuweilen angegeben findet, behauptet, den Draht wirklich bis zur Breite von $^1/_8$ Linie geplättet zu haben. Einen noch dünneren Goldüberzug hat im Mittel der Silberdraht, welcher nach den in Oesterreich geltenden gesetzlichen Bestimmungen hergestellt wird. In Oesterreich sind nämlich drei Vergoldungen gesetzlich *) vorgeschrieben: $\frac{1}{0}$, wo das Gold 0,0145 oder $\frac{1}{69}$; $\frac{3}{0}$, wo es 0,0241 oder $\frac{1}{41}$; und $\frac{5}{0}$, wo es 0,0336 oder $\frac{1}{30}$ vom Gewichte des Silbers ausmachen soll. Bei der schwächsten dieser Vergoldungen ist auf dem feinsten, 0,002 Zoll dicken Drahte der Goldüberzug nur 0,0000039 oder $\frac{1}{256410}$ Zoll stark.

Auch das Platin ist ein sehr geschmeidiges Metall und läßt sich im gewöhnlichen Zustande, wo es etwas Iridium enthält, zu Draht von $\frac{1}{1940}$ Zoll Durchmesser ziehen. Zu besonders feinen Drähten ist das Platin von Wollaston **) gezogen. Das Verfahren dabei ist folgendes: Man befestigt einen dicken Platindraht in die Axe einer hohlen cylindrischen Form, welche man vollends mit

---

*) Prechtl, Techn. Encykl. Bd. IV. S. 228.

**) Phil. Transact. 1813. Gilb. Ann. Bd. LII. S. 284. Altmüller hat ein etwas abgeändertes Verfahren eingeschlagen. Gilb. Ann. Bd. LVIII. S. 435.

geschmolzenem Silber ausfüllt, das um den Draht erstarrt. Darauf zieht man das Ganze durch einen Drahtzug und bewirkt nun die Auflösung des Silbers durch siedende Salpetersäure, welche das Platin nicht angreift, und den in der Mitte befindlichen, durch das Ausziehen ausnehmend verdünnten Draht dieses Metalles zurückläßt. Man kann auf diese Weise den Platindraht bis zu $\frac{1}{6000}$ Zoll im Durchmesser dünn herstellen, wo er dann kaum noch mit den Augen wahrzunehmen ist. Wollaston zog ihn bis zur Dünne von $\frac{1}{30000}$ Zoll aus, fand ihn aber da nicht mehr überall zusammenhängend. Durch ein ähnliches Verfahren wie das erwähnte hat Wollaston auch Golddraht von $\frac{1}{5000}$ Zoll Dicke hergestellt.

Auch das Silber ist sehr ausdehnbar, indem sich aus demselben nicht allein sehr feine Drähte ziehen lassen, sondern dasselbe auch zu außerordentlich dünnen Blättchen geschlagen wird, dem Blattsilber oder Silberschaum. Zu solchen dünnen Blättern wird auch das Kupfer geschlagen, welches den unächten Goldschaum giebt, auch das Zinn und Blei. Was das Blei betrifft, so hat Coriolis bei Versuchen, die er anstellte, um den Grad zu messen, in welchem Bleicylinder durch starke, gleich lange einwirkende Gewichte platt gedrückt zu werden vermögen, gefunden, daß die Art der Schmelzung des Bleies auf seine Ductilität von bedeutendem Einflusse ist. Je öfter das Blei beim Zutritt der Luft umgeschmolzen wird, desto mehr nimmt seine Ductilität oder Fähigkeit, sich platt drücken zu lassen, ab, vermöge eines geringen Oxydgehaltes, den es hierdurch erlangt, und zwar selbst dann, wenn bei jedesmaligem Umschmelzen häufig desoxydirende Substanzen, wie Talg und Harz auf die Oberfläche des Metalles gebracht werden. Wenn man dagegen Blei unter einer starken Decke feinen Kohlenpulvers in Tiegeln schmilzt, von deren Boden aus es durch Hähne abgelassen werden kann, so daß nichts von der Oberfläche in den Guß kommt und die Luft beim Gießen stets abgehalten bleibt, so verändert ein solches, auch wiederholtes Umschmelzen die Ductilität des Bleies nicht. Auch ist in diesem Falle die Temperatur der Schmelzung ohne Einfluß darauf. Coriolis hat ferner gefunden, daß das Maximum der Plattdrückung durch ein gegebenes Gewicht ziemlich spät erst erreicht wird. So hatte sich unter einer Belastung von 1760 Kilogr., die anfänglich durch 680 Theile (jeder zu $^1/_{36}$ Millim.) ausgedrückte Dicke eines Cylinders von Blei, welcher unter einer Kohlenbedeckung geschmolzen wurde, binnen einer Minute auf 317 Theile, binnen einer Stunde auf 245 Theile und binnen 24 Stunden auf 223 Theile reducirt.

Das Glas, welches bei den gewöhnlichen Temperaturen einer der sprödesten Körper ist, wird in der Rothglühhitze zu einem der dehnbarsten. Man kann ihm in dieser Temperatur bekanntlich alle Formen und Gestalten, welche man will, geben. Den auffallendsten Beweis für seine außerordentliche Dehnbarkeit aber geben die außerordentlich feinen Glasfäden, in die man es an der Blaslampe spinnen kann. Diese Fäden sind so fein und biegsam, daß man aus ihnen Zeuge weben kann. Ehemals hat man sie zum Hutschmuck, in 5 bis 7 Zoll langen Büscheln zusammengebunden, gebraucht. Auch hat man zuweilen Perücken daraus gefertigt, indem man die einzelnen Büschel zu Locken umbog und unter einander

verband. Muncke *) erzählt, er habe von dem geübten Glasbläser Herrmann, aus Freiburg im Breisgau, einige solche farbige Gespinnste (aus Fäden von farbigem Glase) von ausgesuchter Feinheit erhalten, wovon die feinsten Fäden, wie die Spinnenfäden, durch den bloßen Luftzug bewegt wurden. Die Dicke eines solchen Fadens geht nach mikroskopischen Untersuchungen nicht über die eines gewöhnlichen Fadens aus dem Gespinnste einer großen Kreuzspinne hinaus, ist aber ungleich weniger haltbar. Bei demselben Glasbläser hat Muncke auch eine Mütze aus Glasfäden gesehen, welche aus einzelnen Streifen derselben geflochten war, sich vollkommen biegsam, wie von weichem Zeuge verfertigt, zeigte, und mit Seifenwasser gebürstet und gewaschen werden konnte. Wenn man eine nicht zu enge Glasröhre an einem Ende zuschmelzt, und dann mit der Blaslampe eine Kugel daran bläst, diese aufs Neue glühend macht und so stark aufbläst, daß sie platzt, so werden einzelne Theile so dünn, daß man an ihnen das Farbenspiel, welches beim Durchgange des Lichtes durch sehr dünne Körper stattfindet, wahrnimmt und daß sie wie eine Flaumfeder durch den Luftzug bewegt werden.

Auch das menschliche Haar läßt sich, nach Weber, ohne zu zerreißen, um ein Drittel seiner Länge ausdehnen, und wird dabei dünner. Bei Nachlaß der ausdehnenden Kraft zieht sich das Haar wieder zusammen, erhält aber seine ursprüngliche Länge nicht wieder. Ein Menschenhaar, das um ein Viertel seiner Länge ausgedehnt worden, blieb um ein Zehntel und als es um ein Drittel ausgedehnt worden, nahe um ein Sechstel seiner ursprünglichen Länge verlängert. Nach Versuchen von Gerstner **) verlieren auch Drähte, welche ausgedehnt werden, ihre ursprüngliche Elasticität nicht völlig. (Vergl. d. Art. Elasticität.) Ein Spinnefaden läßt sich fast bis zu seiner doppelten Länge ausdehnen und soll, wenn die Spannung aufhört, in seine vorherige Länge zurückgehen ***); doch verliert er diese Eigenschaften, wenn er älter wird, wahrscheinlich, indem er vertrocknet.

Sehr viele vegetabilische und thierische Stoffe werden durch die Feuchtigkeit dehnbar, wie Gummi, Eiweiß, Leim rc. und lassen sich zu sehr feinen Fäden ausziehen, welche durch Austrocknung hart werden. O. M.

Dehnkraft, s. Abstoßung und Expansivkraft.

Dekantiren, s. Abgießen.

Deklination, s. Abweichung.

Deklinationskreis, s. Abweichung, astronomische.

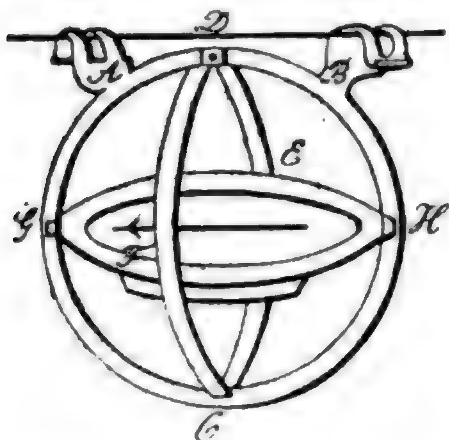
Deklinatorium ist erstlich ein Instrument zur Bestimmung der Deklination (Abweichung — s. Abweichung, magnetische —) der Magnetnadel für einen gegebenen Ort der Erdoberfläche; zweitens ein Apparat zur Wahrnehmung der binnen einer gewissen Zeit sich zutragenden, meistens periodischen Aenderungen (Oscillationen) in der Abweichung der Magnetnadel. Da von diesem Apparate ein besonderer Artikel Magnetometer handelt, so werden wir hier nur von dem ersten Instrumente sprechen, dessen allgemeinster Name bekanntlich Compaß ist. Nur, weil verschiedene Anwendungen der Abweichung der Magnetnadel statt-

*) Gehler's Phys. Lex. N. A. Bd. II. S. 531.
**) Handbuch der Mechanik. Bd. I. S. 262.
***) Gilbert's Ann. Bd. XL. S. 211.

finden, so ist Construction und Name des Compasses verschieden. Gebraucht der Physiker den Compaß zur möglichst genauen Erforschung der Deklination und deren Variation, so heißt der Compaß Deklinatorium; der in der Geodäsie zu Winkelmessungen benutzte Compaß wird doppelten Zweckes halber entweder Anschiebecompaß oder Boussole genannt; die Bergleute gebrauchen zu Vermessungen in den Gruben den Markscheidercompaß; in der Schifffahrt kommen wegen Bestimmung der Windrichtungen rc. der Schiffs- oder Steuercompaß und der Azimuthalcompaß zur Anwendung; bei der militärischen Aufnahme bedient man sich der einfachen Boussole. — Der Anschiebecompaß soll zum Orientiren dienen; wegen seiner nothwendigen Kleinheit jedoch gewährt er kaum mittelmäßige Genauigkeit, und da er außerdem noch an der Seite des Menselblattes hinderlich ist, so verwerfen ihn die jetzigen Geodäten mit Recht und bedienen sich lieber einer auf dem Diopterlineale selbst angebrachten Magnetnadel. Deshalb unterlassen wir auch eine Beschreibung und Abbildung des Anschiebecompasses. — Weit wichtiger ist die Boussole, ein bei geodätischen Detailvermessungen sehr gebräuchliches und bequemes Instrument. In dem Innern einer, gewöhnlich 6 Zoll im Durchmesser betragenden, etwa 1 Zoll hohen cylindrischen, oben mit einem der Grundfläche parallelen Glasdeckel verschlossenen Büchse von Messing befindet sich ein meist in Viertelgrade getheilter Kreisring, in dessen Centrum eine feine Stahlspitze senkrecht steht. Auf dieser Spitze schwebt, in gleicher Höhe mit dem Gradringe frei eine Magnetnadel. Letztere wird, sobald die Boussole nicht gebraucht wird, arretirt, d. h. mittels eines Hebels von der Stahlspitze abgehoben und an den Glasdeckel angedrückt. Die beste Form der Magnetnadel ist die stabförmige, mit einer auf ihrer oberen Fläche eingerissenen geraden Linie. Mittels des sogenannten, unterhalb der Mitte der Nadel befestigten Hutes, einer Höhlung von Messing, Glas, Achat oder Rubin ruht die Nadel auf dem erwähnten Stahlstifte. Endlich ist mit der Büchse ein um eine Axe bewegliches astronomisches Fernrohr verbunden; seine Drehungsaxe läuft mit dem Glasdeckel parallel, seine optische Axe steht senkrecht auf der Drehungsaxe und muß durch den Mittelpunkt des Gradringes gehen. Das Ganze wird auf dem Stative eines Meßtisches festgeschraubt und bildet so die Boussole. Der Grundsatz nun, auf den die Construction und Anwendung dieses winkelmessenden Apparates sich gründet, ist der, daß unter Voraussetzung nicht zu großer räumlicher Entfernungen und blos durch kleine Zeiträume von einander getrennter Beobachtungen die Richtungen der Magnetnadel beständig sich parallel sind. Als praktische Regel für die Aufnahme der Winkel ist zu merken, daß man stets in Bezug auf jede Spitze der Nadel die erste Ablesung von der zweiten abziehen und, im Fall sich eine negative Differenz ergeben sollte, dieselbe um 360 Grade vermehren, auch zwischen den aus den an beiden Spitzen geschehenen Ablesungen gezogenen Resultaten das arithmetische Mittel nehmen müsse, sobald diese Resultate nicht völlig einander gleich sind. Die Ablesung beider Spitzen der Nadel ist aber nothwendig, um einen etwa stattfindenden Excentricitätsfehler zu eliminiren, d. h. unschädlich zu machen. — Bei geodätischen Aufnahmen mittels der Boussole ist, dem Princip dieses Instrumentes zufolge, eine Kenntniß der Deklination der Magnetnadel gar nicht erforderlich; über die Anfertigung bester Nadeln wird der

Artikel Magnetnadel das Nähere angeben. Beschreibungen und Abbildungen einer zweckmäßig construirten Boussole enthalten fast alle guten Lehrbücher der niederen Geodäsie *), in denen auch Anweisungen zum Gebrauch dieses Instrumentes und die Reduction und Benutzung der mit demselben angestellten Messungen vorkommen.

Was nun den Markscheidercompaß betrifft, so giebt es zwei Arten desselben, der Gruben- oder Hängecompaß und der Zulegecompaß. Ersterer wird zur Bestimmung des sogenannten Streichens gerader Linien angewandt. An dem mittels der Haken A u. B (s. beistehende Fig.) sich an jeder straff ausgespannten Schnure sich aufhängen lassenden Messingreifen A B C ist bei C und D der Messingreif C D E F mittels Schrauben befestigt und auf beiden Seiten mitten zwischen C und D bei E und F durchbohrt. In den Löchern E und F bewegt sich vermöge zweier Stifte ein kleiner Compaß E F G H. Sein Gehäuse trägt bei G und H zwei kleine Arme, durch die es stets am Ringe A B C genau anliegt, mithin so in seiner Bewegung besser regulirt wird. Der Gradring des Compasses enthält aber keine 360 Grade, sondern ist in 24 Stunden so eingetheilt, daß die Linie G H durch zwei einander diametral sich gegenüber befindende Theilpunkte geht; G und H werden durch die Worte Nord und Süd, mit der Zahl 12, bezeichnet, dagegen die Endpunkte der sechsten Stundenlinie mit Ost und West. Was nun die Anwendung anlangt, so muß das am Hängecompaß beobachtete Streichen einer Linie gegen den magnetischen Meridian auf den astronomischen reducirt werden, um das wirkliche Streichen dieser Linie zu finden, weshalb die Kenntniß der jedesmaligen Deklination der Magnetnadel erforderlich ist. — Der Zulegecompaß ist nichts weiter als ein Lineal, worauf der eigentliche Compaß des Grubencompasses so aufgesetzt werden kann, daß die zwölfte Stundenlinie desselben mit der Kante des Lineals parallel läuft. Früher war der Zulegecompaß (auch Zulegeinstrument genannt) ein parallelogrammförmig gestalteter Apparat mit einer Vertiefung und zwei Dioptern, mit dem sich der Zug dem Horizonte nach parallel zu Papier bringen ließ **).



Wir kommen jetzt zu dem sehr wichtigen Schiffs- oder Steuercompaß und zu dem Azimuthalcompaß, der, der Hauptsache nach von andern Compassen nicht verschieden, eine Art auf dem Schiffe in der Nähe des Steuerruders angebrachte Boussole ist, um von dem Steuermanne zur Bestimmung der Richtung der Himmelsgegend, nach welcher er das Schiff steuern soll, gebraucht zu werden. Statt des eingetheilten Grad- oder Stundenringes aber hat der Steuercompaß die Compaß- oder Windrose, d. h. einen in die 32 Himmelsgegenden oder Wind-

*) Wir empfehlen von den neueren Werken dieser Art besonders: J. A. Grunert's Lehrb. der Mathem. und Phys. Bd. II. 2. Abthlg. Leipzig 1842. (§. 65—66).

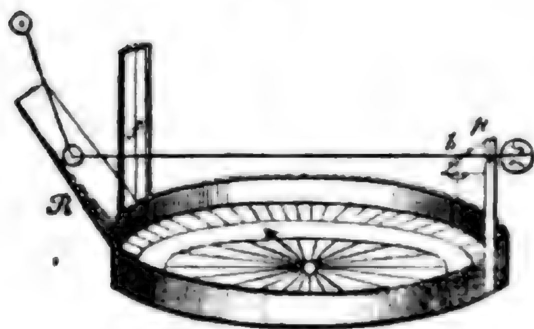
**) Weidlerus, Institut. geom. subterr. p. 14; Voigtel, Markscheidek. S. 26.

striche eingetheilten Kreisring (siehe Fig. I.). Man findet die Windrose sehr häufig auch in dem Fußboden der Steuerkajüte eines Schiffes unmittelbar eingeschnitten, so wie bekanntlich auf Land- und Seekarten angegeben. Zur zuverlässigen Anwendung des Schiffs- oder Steuercompasses ist jedoch stets nöthig, daß man die Abweichung der Magnetnadel für den Punkt kenne, auf welchem das Schiff sich eben befindet, weshalb der Steuermann Tabellen zur Hand haben muß, in denen die Deklination der Magnetnadel für möglichst viele Punkte der Erdoberfläche genau angegeben ist. — In Betreff des Azimuthalcompasses mögen folgende Mittheilungen *) hier genügen. Hat man die Breite und Länge des Schiffes bestimmt, so läßt sich nach einer hierfür gegebenen Methode der rechtweisende Curs zum Hafen finden, welcher in den Compaßcurs zu verwandeln ist, den das Schiff zu steuern hat, um den wahren Curs inne zu halten. Dies setzt jedoch die Variation des Compasses voraus, welche durch Vergleichung des gepeilten magnetischen Azimuths mit dem, aus einer gleichzeitig genommenen Sonnenhöhe berechneten, wahren Azimuthe gefunden wird. Das magnetische Azimuth aber wird mit dem Azimuthalcompasse gepeilt. Eine der besten Constructionen desselben ist die von Filby in Hamburg angegebene. (Siehe Fig. II.) Mittels des gegen den Horizont unter einem der halben Höhe gleichen Winkel geneigten und durch Friction in seiner Stellung erhaltenen Reflector R wird das reflectirte, durch den Faden halbirte Bild der Sonne mit der auf der Karte umgekehrt entworfenen, durch das Prisma p reflectirten, das magnetische Azimuth angebenden Zahl 75 zugleich wahrgenommen, so daß man während des Peilens ablesen kann. Die wegen der Identität der Ablesungen auf beiden Seiten auf Marienglas (russischem Frauenglas) gezeichnete Karte ist durch Umdrehung des Hütchens um seine Axe einer Umlegung theilhaftig, so daß hierdurch Excentricität und Collimation ausgeglichen werden können. Wegen Vergrößerung der Zahlen an den Katheten ist das Prisma convex geschliffen und hat über der Hypothenuse eine Blendung. Ferner ist an beiden Seiten des Reflectors derselbe mit Spiegeln versehen, damit auch Gegenstände unter dem

I.



II.



*) Entlehnt im Auszuge aus C. Rümker's Handbuch der Schifffahrts-Kunde rc. 4. Aufl. Hamburg 1844.

scheinbaren Horizonte sich beobachten lassen. Der die Compaßrose umgebende Kreis ist von 30 zu 30 Minuten eingetheilt und die Compaßbüchse selbst von Kupfer, damit die Magnetnadel gegen Einwirkungen der Localattraction gesichert sei. Weil jedoch Azimuthe nur bei niedrigen Sonnenhöhen beobachtet werden sollten, so könnte auch der Reflector in den meisten Fällen füglich entbehrt werden.

Was endlich die zum militärischen Aufnehmen dienende Boussole betrifft, so ist dieselbe ein nicht großer Compaß mit eingerissenen Himmelsgegenden und zum Stellen so eingerichtet, daß der Meßtisch oder die Handmensel bequem orientirt werden kann. Besonders ist bei der letztern das Stellen sehr nöthig, weil man oft eine Stellung einnehmen muß, von welcher aus die Nadel nicht gut beobachtet werden kann, sobald man an die Orientirung nach der Nordlinie gebunden ist. Uebrigens versteht sich wohl von selbst, daß, um nicht falsche Ablenkungen der Nadel zu verursachen, Säbel, Gewehre, eiserne Denkmäler ꝛc. möglichst vermieden werden müssen. — Preise verschiedener Compasse, Boussolen ꝛc. siehe unter Apparat S. 261, 263, 272, 273, 275, 276. Jahn.

Delphinin, s. Basen, organische.

Desinficirung, Desinfection ist die Reinigung der Luft und anderer Körper von Beimengungen, die der Gesundheit nachtheilig sind. Die Luft kann durch die verschiedenartigsten Einflüsse zum Aufenthalte für Menschen untauglich werden, und es werden dann mechanische oder chemische Mittel zu ihrer Desinfection in Anwendung gebracht. Zu den gasförmigen Stoffen, welche die Luft verderben und deshalb entfernt werden müssen, gehören namentlich Kohlen=, Schwefel=, Phosphorwasserstoffgas, Schwefelwasserstoffammoniak, Kohlensäure, Kohlenoxyd und Ammoniak. Manche dieser Stoffe wirken schon in verhältnißmäßig sehr geringer Menge äußerst nachtheilig auf den thierischen Organismus. So tödtet nach Dupuytren $^1/_{250}$ Volumen Schwefelwasserstoffgas der atmosphärischen Luft beigemengt ein Pferd in einer Minute, $^1/_{522}$ einen Hund von mittlerer Größe, $^1/_{1500}$ einen Vogel auf der Stelle. Dagegen kann die Luft $^1/_{20}$ Kohlensäuregas dem Volumen nach enthalten, ohne der Gesundheit schädlich zu werden. Von besonderer Wichtigkeit ist die Entfernung oder Zerstörung der Contagien, die man als Producte gewisser Krankheiten zu betrachten hat, so daß sie in Berührung mit gesunden Organismen in diesen dieselben Krankheiten, aus denen sie hervorgingen, zu erzeugen vermögen. Gasförmige Contagien nennt man Miasmen. Durch den letzteren Ausdruck bezeichnet man aber auch die der Gesundheit schädlichen Ausdünstungen sumpfiger Gegenden, wie überhaupt solche Producte der Fäulniß animalischer und vegetabilischer Stoffe, welche in nicht nachweisbaren Mengen der atmosphärischen Luft beigemengt auf den thierischen Organismus nachtheilig einwirken. Bemerkenswerth ist, daß die gasförmigen Contagien stets von Ammoniak begleitet sind. Dasselbe läßt sich in der durch Eis verdichteten Feuchtigkeit der Luft, welche das Contagium enthält, nachweisen, indem diese Feuchtigkeit in Sublimatlösung, gerade so wie eine Ammoniakauflösung, einen weißen Niederschlag hervorbringt. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß dem Contagium oft durch Ammoniak die gasförmige Natur verliehen wird *).

Zur Reinigung der Luft auf mechanischem Wege gelangt man häufig sehr

---

*) Ann. de chim. et de phys. T. XV. p. 27. Liebig's Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. 5. Aufl. S. 496.

einfach durch Hervorbringung eines Luftzuges. So finden wir in Krankenhäusern, Arbeitsräumen u. dergl. mitunter ganz zweckmäßige Einrichtungen, die sich auf Unterhaltung eines geeigneten Luftwechsels beziehen *). Zur Erneuerung der Luft in den unteren Schiffsräumen gebraucht man gewöhnlich einen sehr einfach construirten Ventilator. Auf dem Schiffsverdeck schwebt nämlich ein cylindrischer, nach oben etwas erweiterter Schlauch von starkem Zeuge, der durch passende Ringe offen erhalten wird. Das untere Ende desselben mündet im Schiffsraume, während die obere Oeffnung sich 10—12 Fuß über dem Verdecke befindet. Nahe unter dieser Oeffnung ist seitlich noch eine andere Oeffnung angebracht, welche dem Winde entgegengestellt wird, so daß dieser, indem er hindurchstreicht, eine Luftverdünnung erzeugt, wodurch die Luft des Schiffsraumes nach außen getrieben wird. Ueber andere derartige Einrichtungen siehe den Artikel Ventilator. Nicht selten wird die Wärme zur Hervorbringung des gewünschten Luftzuges benutzt, so in Kloaken, Gruben und auch in Bergwerken, indem man an einer passenden Oeffnung ein Feuer anbringt, wodurch ein aufsteigender Luftstrom entsteht. Durch eine andere Oeffnung dringt dann gleichzeitig frische Luft ein. Um die Luft im Zimmer zu reinigen, dient schon eine gewöhnliche Art der Luftheizung, wenn man nämlich den Ofen mit einem thönernen oder metallenen Schirm umgiebt, der etwa 4—6 Zoll von ihm absteht. Während nun die in dem Zwischenraume zwischen Schirm und Ofen erwärmte Luft aufsteigt, strömt von unten kältere und frischere Luft herbei. Anstatt einen Schirm anzubringen, kann man auch durch das Innere des Ofens ein oben und unten offenes Rohr hindurchführen. Zu der mechanischen Desinfection gehört noch das sogenannte Lüften und Sonnen der Betten, Zeuge u. dergl., welche bei ansteckenden Krankheiten verwendet wurden, so wie auch, wenigstens zum Theil, die Reinigung der Bettfedern, Roßhaare rc. durch heißen Wasserdampf.

Was die chemischen Desinfectionsmittel anlangt, so richtet sich ihre Anwendung natürlich nach der chemischen Beschaffenheit der durch Gase und Contagien verunreinigten Luft. Einige erfordern eine sehr vorsichtige Verwendung, da sie selbst nachtheilig werden können.

Das in der Marine gebräuchliche Abbrennen von Schießpulver in den Zwischendecken wirkt sicherlich nicht anders als mechanisch, indem durch die plötzliche Ausdehnung der Luft ein Luftwechsel herbeigeführt wird. Haben die durch das Abbrennen von Schießpulver entstandenen Gase: Kohlensäure und Stickstoff keinen hinreichenden Abzug, so wird die Luft sogar durch diese Anwendung des Schießpulvers noch mehr verunreinigt. In frisch angekalkten Räumen pflegt man ebenfalls Schießpulver abzublitzen, um den eigenthümlichen Kalkgeruch zu beseitigen; die erzeugte Kohlensäure wirkt in diesem Falle in bekannter Weise chemisch auf den Kalk.

Die frisch geglühte Holzkohle, welche sich durch ihr Absorptionsvermögen für Gase auszeichnet und gewissermaßen den Uebergang zu den nur chemisch wirkenden Desinfectionsmitteln bildet, findet in der Form gröblicher Stücke eine zweckmäßige Anwendung in Kranken=, Schul=, Schlafstuben rc.

*) Günther, die Luftreinigung in Zimmern und Krankensälen. Aachen 1826. Henke, Zeitschrift für Staatsarzneikunde 1827. Ergänzungsheft. S. 36. Haeberl, System der vollständigen Luftreinigung für den Sommer und Winter. München 1840.

Die aromatischen Räucherungen wirken gewiß weniger chemisch zerstörend als vielmehr üble Gerüche einhüllend. Mehr chemisch wirksam ist der Essig, sowohl gemeine als aromatische (vinaigre des quatre voleurs); er wird entweder in offenen Gefäßen gekocht oder auf glühende Kohlen, erhitzte Bleche und dergleichen gespritzt. Kleist's luftreinigendes Pulver, das aus 18 Theilen saurem schwefelsauren Kali, 5 Th. essigsaurem Bleioxyd und $3^1/_4$ Th. Braunstein besteht, entwickelt beim Erhitzen Essigsäure und Sauerstoffgas.

Aetzkalk, d. i. frischgebrannter Kalk, wird mit Wasser zu pulvrigem Kalkhydrat gelöscht oder mit größeren Wassermengen zu Kalkbrei angerührt und dann in flachen Gefäßen ausgestellt. In allen Räumen, wo eine reichliche Entwickelung von Kohlensäure stattfindet, die dann den Athmungsproceß beeinträchtigt, also in Gährungsräumen, Gruben, Kellern und in geschlossenen von vielen Menschen bewohnten Zimmern findet der Aetzkalk als Desinfectionsmittel die nützlichste Anwendung.

Die Alkalien werden in verdünnten Auflösungen als Waschmittel verschiedener Geräthe nach dem Herrschen contagiöser Krankheiten gebraucht. Sie wirken theils mechanisch, theils, wie namentlich die ätzenden Alkalien, chemisch, indem sie schädliche Säuren binden. Zu den schärfer einwirkenden chemischen Desinfectionsmitteln, die mit Vorsicht in Anwendung zu bringen sind, gehören das Chlor, die sogenannten Bleichsalze, die schweflige Säure, die Salzsäure und Salpetersäure.

Die Chlorräucherungen wurden in ihrer Wirksamkeit durch Guyton-Morveau erkannt *), daher auch die Bezeichnung fumigationes Guyton-Morveauianae gebräuchlich ist. Ein Gemisch von $1-1^1/_2$ Th. feingeriebenem Braunstein und 3 Th. getrocknetem Kochsalz mit 2 Th. concentrirter Schwefelsäure, die mit einer gleichen Menge Wasser vermischt ist, übergossen, entbindet schon in gewöhnlicher Temperatur reichlich Chlorgas. Da das Chlor die Respirationsorgane stark angreift, so haben die mit Chlorräucherungen Beschäftigten sich durch Schwammmasken gegen die Einathmung von Chlor zu schützen und können natürlich Kranke in solchen Räumen nicht verweilen. Das Chlor dient auch als Waschmittel zur Desinficirung.

Von den Bleichsalzen, mit welchem Namen mehrere unterchlorigsauren Salze bezeichnet sind, dient als sehr geschätztes Desinfectionsmittel der Chlorkalk, der in flachen Schalen, mit Wasser befeuchtet, ausgestellt wird. Man beschleunigt die Entwickelung des Chlors durch Zusatz von etwas verdünnter Salzsäure. Es versteht sich von selbst, daß in Krankenzimmern nur eine äußerst mäßige Entwickelung von Chlor zu gestatten ist. Der Chlorkalk dient auch zum Waschen von Zeugen und zur Desinficirung in Fäulniß übergegangener Leichen. Obschon sich das Chlor häufig als Zerstörungsmittel von Ansteckungsstoffen bewährt hat, so ist es andererseits doch ohne Erfolg, z. B. in der Choleraepidemie und in der Verbreitung des gelben Fiebers, geblieben. Wegen seiner großen Verwandtschaft zum Wasserstoff ist das Chlor vorzugsweise geeignet, Stoffe wie Schwefel- und Phosphorwasserstoffgas, Ammoniak, Schwefelwasserstoffammoniak, so wie Contagien und Miasmen, bei denen das Ammoniak eine Rolle spielt, zu zerstören.

Die schweflige Säure, am gewöhnlichsten durch Verbrennung von Schwefel erzeugt und im gemeinen Leben Schwefeldampf genannt, kann, da sie

*) Traité de moyens de désinfecter l'air etc. Paris 1805. 3. édit.

die Athmungsorgane heftig reizt, ebenfalls nur in unbewohnten Räumen unmittelbar Anwendung finden.

Räucherungen mit gasförmiger Salzsäure und Salpetersäure stehen in ihrer desinficirenden Eigenschaft dem Chlor eben nicht viel nach. Die erstere erhält man durch Uebergießen von 15 Th. Kochsalz mit 12 Th. concentrirter Schwefelsäure, die letztere aus einem Gemenge von gleichen Theilen Salpeter und concentrirter Schwefelsäure.

Desoxydiren heißt einem sauerstoffhaltigen Körper oder einem Oxyde einen Theil oder die ganze Menge seines Sauerstoffgehaltes entziehen; den Vorgang selbst nennt man im Allgemeinen den Desoxydationsprozeß, bei den Metallen dagegen insbesondere den Reductionsprozeß. Die Entziehung des Sauerstoffes kann namentlich auf dreierlei Weise geschehen: 1) unter alleiniger Anwendung von Hitze; 2) durch Hitze bei Gegenwart von Substanzen, welche bei hoher Temperatur eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff haben (sogenannte Reductionsmittel); 3) unter alleiniger Anwendung von Reductionsmitteln, ohne daß die Temperatur künstlich erhöht wird. Die erste Art der Desoxydation zeigt sich in ihrer Reinheit bei den edlen Metallen, dem Gold, Platina, Silber und Quecksilber, deren Oxyde schon bei nicht sehr hoher Temperatur reducirt werden, weil in ihnen der Sauerstoff nur schwach gebunden ist; der Prozeß der trocknen Destillation organischer Substanzen, bei welcher die Kohle ebenfalls ihres Sauerstoffes beraubt wird, ist kein reiner Desoxydationsprozeß, weil der Sauerstoff hier nicht allein aus der Verbindung austritt, sondern zugleich der Wasserstoff und sogar ein großer Theil des Kohlenstoffes gasförmig entweicht. Gewöhnlich werden die Oxyde nach der zweiten Art des hier erwähnten Prozesses reducirt. Im Großen geschieht diese Reduction bei den Metalloxyden fast stets unter Anwendung von Kohle (vergl. die Artikel der einzelnen Metalle), wobei jedoch häufig nicht reines Metall zurückbleibt, sondern eine chemische Verbindung oder ein mechanisches Gemenge von Metall und Kohle, so bei dem Eisen, Zink, Zinn u. a. Im Kleinen bedient man sich zur Reduction der Oxyde gewöhnlich des Kaliums und ganz besonders des Wasserstoffgases. Das Kalium hat von allen Körpern die größte Verwandtschaft zum Sauerstoff, es ist daher auch das kräftigste Reductionsmittel, durch welches selbst die gasförmige Kohlensäure bei etwas erhöhter Temperatur vollständig ihres Sauerstoffes beraubt und die schwarze Kohle aus derselben ausgeschieden wird. Die Reduction mittelst des Wasserstoffgases geschieht in der Regel in einem kleinen Apparate, welcher aus einer Glasröhre besteht, an welcher in der Mitte eine Kugel ausgeblasen ist; in diese Kugel schüttet man das zu reducirende Metalloxyd und setzt dann das eine Ende der Glasröhre mit einer mit Chlorcalcium angefüllten Röhre in Verbindung, welche ihrerseits wieder luftdicht an die Gasentbindungsflasche sich anschließt; durch das Chlorcalcium wird dem Wasserstoffgase alle Feuchtigkeit entzogen und kommt im völlig trocknen Zustande mit dem Metalloxyde in Berührung, aus welchem es unter Erhitzung mittelst einer Spirituslampe den Sauerstoff vollständig entfernt, indem es mit demselben zu Wasser sich verbindet; sobald die Wasserbildung aufhört, erhitzt man das reducirte Metall schließlich möglichst stark bis zum Glühen, wodurch verhindert wird, daß das fein zertheilte Metall, an die atmosphärische Luft gebracht, wiederum mit dem Sauerstoff derselben leicht sich verbindet. — Die dritte Art des Desoxydationsprozesses findet in den technischen Gewerben, so wie bei chemischen Experimenten

nur eine beschränkte Anwendung, dagegen tritt sie in der Natur im Großen auf; sie ist in agronomischer, wie auch in geognostischer Hinsicht von Bedeutung. Von kleineren chemischen Vorgängen kann man hier die Zersetzung des Wassers durch das Kaliummetall bei gewöhnlicher Temperatur anführen, weit großartiger tritt aber ein Desoxydationsprozeß in der Natur auf unter dem Einfluß von faulenden organischen Substanzen. Diese bewirken nämlich beim Abschluß der atmosphärischen Luft die theilweise oder gänzliche Reduction der Metalloxyde; so wird in den tieferen Schichten der Ackerkrume dem Eisenoxyde ein Theil seines Sauerstoffes entzogen und jenes in Oxydul verwandelt, welches beim Umbrechen des Ackers mit der Atmosphäre in Berührung wiederum in Eisenoxyd übergeht, und die Ursache ist, weswegen der Acker, namentlich wenn derselbe zuerst der Cultur zugänglich gemacht werden soll, erst eine Zeitlang der Atmosphäre ausgesetzt bleiben muß, ehe die Saat demselben anvertraut wird; die Gegenwart einer zu großen Menge von Eisenoxydul ist nämlich dem Keimen des Samens und der Entwickelung der jungen Pflanze nachtheilig. Noch vollständiger geht diese Reduction in Morästen und Torfmooren vor sich; hier werden die auflöslichen Sauerstoffsalze der Metalle, wie namentlich das schwefelsaure Eisenoxydul und Kupferoxyd, unter den geeigneten Umständen vollständig ihres Sauerstoffes beraubt und in diesem Falle zu Schwefelmetallen reducirt; auf diese Weise sind alle die großen Massen von Schwefelkies entstanden, welche die geschichteten Gebirgsarten durchdringen, von der ältesten Zeit der Entwickelungsgeschichte der Erde an bis zur Gegenwart herab; der Kupferschiefer hat diesem Prozeß seinen oft so bedeutenden Gehalt an Kupferkies zu verdanken. Auch im Kleinen kann man diesen Reductionsprozeß nachweisen; wenn man z. B. einen thierischen Körper in eine Auflösung von Eisenvitriol hineinlegt und diese in einem luftdicht verschlossenen Gefäße längere Zeit hinstellt, so wird nach Verlauf mehrerer Jahre die organisch-thierische Substanz fast vollständig sich aufgelöst und statt dessen eine entsprechende Menge Schwefelkies sich ausgeschieden haben, gewöhnlich mit Beibehaltung der Form, welche dem thierischen Körper ursprünglich eigen war. — Auch die Erscheinungen, welche während des Wachsthums der Pflanzen unter dem Einflusse der Lebensthätigkeit auftreten, kann man dem Reductionsprozeß anreihen, denn auch hier werden die Kohlensäure und das Wasser eines großen Theiles oder vollständig ihres Sauerstoffes beraubt, sie werden unter Ausscheidung des Sauerstoffgases gleichsam desoxydirt oder reducirt. E. W.

Destillation (Destilliren, v. d. lat. destillare, abtröpfeln) ist eine chemische Operation, durch welche in einem Gemenge verschiedener Substanzen die flüchtigeren von den minder flüchtigen getrennt werden, indem die ersteren bei einer bestimmten Temperatur die Dampfform annehmen, in einen weniger erhitzten Raum geleitet werden und hier zu einer tropfbaren Flüssigkeit sich wiederum condensiren. Das ganze Verfahren beruht also auf dem Gesetze, daß die tropfbar flüssigen Körper bei verschieden hohen Temperaturgraden durch die Wärme in expansibel flüssige Körper verwandelt und durch die Kälte wiederum in den flüssigen Aggregationszustand gebracht werden (vgl. d. Art. Aggregat und Dampf). Bei der Destillation ist die verflüchtigte und wiederum condensirte Substanz das Hauptproduct, während der Rückstand als ein Nebenproduct betrachtet wird und oftmals als unbrauchbar zu weiteren Zwecken bei Seite geschafft wird, daher auch die früher mehr wie jetzt gebräuchlichen Benennungen wie caput mortuum, d. h. Todtenkopf,

wenn der Rückstand ein fester Körper war, oder Phlegma, wenn derselbe in flüssiger Form sich darstellte, gleichsam todte, indifferente, unbrauchbare Substanzen, denen durch die Destillation der Geist, der bessere Theil genommen worden war. Durch den so eben mitgetheilten Charakter des Destillationsprozesses unterscheidet derselbe sich von der Operation des Abdampfens (s. diesen Artikel), indem hier gerade der Rückstand den allein wichtigen Theil der ursprünglichen Masse ausmacht, während die flüchtigen Substanzen keiner besonderen Aufmerksamkeit mehr für werth erachtet werden. Wird ein trockner, fester, starrer Körper der Operation des Destillirens unterworfen, so nennt man dieselbe eine trockne Destillation, welche z. B. bei der Darstellung der rauchenden oder Nordhäuser Schwefelsäure aus dem Eisenvitriol, besonders aber bei der Gewinnung mannichfacher Fluida durch Erhitzung trockner vegetabilischer und thierischer Stoffe angewendet wird. Ist endlich das Destillat einer trocknen Masse keine Flüssigkeit, sondern wiederum eine feste pulverförmige Substanz, so heißt die Destillation in diesem Falle eine Sublimation, wie bei der Darstellung von Schwefelblumen, Quecksilbersublimat, bei der Reinigung des Arseniks, Zinks ꝛc. Wenn man eine Flüssigkeit von einem anderen festen Körper abdestillirt, so daß mit derselben auch flüchtige Theile dieses anderen Körpers in das Destillat übergehen, so nennt man diese Art der Destillation das Abziehen; man zieht z. B. Weingeist über aromatische Stoffe ab, um ihn mit den flüchtigen Oelen zu schwängern, welche jene Stoffe enthalten. Cohobiren heißt eine abgezogene Flüssigkeit nochmals über einen gleichartigen Körper abziehen, um eine vollständigere Sättigung zu bewirken; rectificiren heißt wiederholt destilliren, um in dem zuerst übergehenden Destillat eine reinere oder concentrirtere Flüssigkeit zu erhalten, oder indem man durch Anwendung einer gewissen Substanz, wie Kali, Chlorcalcium ꝛc. der zu destillirenden Flüssigkeit ihre fremdartigen Beimengungen, namentlich das Wasser, entzieht. — Im Allgemeinen besteht der Destillationsapparat oder das sogenannte Brennzeug aus drei Haupttheilen, nämlich aus dem Gefäße, in welchem das zu destillirende Gemisch erwärmt wird; ferner aus dem Gefäße, in welchem der durch die Wärme erzeugte Dampf abgekühlt und dadurch condensirt wird (Vorlage, Condensator), und endlich aus der Leitung, welche beide Gefäße mit einander verbindet. Es giebt nach der verschiedenen Form und Stellung des Destillirapparates drei Arten der Destillation: die gerade oder aufsteigende, die schräge und die absteigende oder unterwärtsgehende Destillation. 1) Zur aufsteigenden Destillation bedient man sich eines Apparates, welcher zunächst aus dem Kolben und dem Helme besteht; der erstere ist ein bauchiges, oben in einen Hals auslaufendes (keulen- oder kolbenförmiges) gläsernes oder metallenes Gefäß, welches in ein Wasser-, Oel-, Sandbad gestellt und auch wohl über freiem Feuer erhitzt wird. Auf den Kolben wird der gut eingeschliffene Helm gesetzt und mittels eines Kittes oder durch Blase luftdicht befestigt; der Helm ist einer umgestürzten Theekanne nicht unähnlich, nur mit einem längeren Schnabel versehen; er besteht aus Metall oder Glas und ist im letzteren Falle häufig mit einem Glaspfropfen versehen (Tubulathelme), um das zu destillirende Gemisch nachfüllen zu können, ohne den Helm jedesmal abzunehmen; auch ist Kolben und Helm dann nicht selten aus einem Stück geblasen und nicht von einander zu trennen. An den Schnabel des Helmes befestigt man die Vorlage (Recipient), welche entweder die Form eines Kolbens hat oder auch die einer Kugel (Ballon), gewöhnlich mit zwei

Hälsen. Die Vorlage muß während der Operation stets kühl gehalten werden, weshalb sie mit kaltem Wasser fortwährend betröpfelt oder in eine mit kaltem Wasser angefüllte Schale gelegt wird. Zu Destillationen im Großen bedient man sich der Destillirblasen, welche aus kupfernen Kesseln bestehen mit kupfernen oder zinnernen Helmen oder Hüten von verschiedener Form; der Schnabel des Helmes oder das Helmrohr führt unter verschiedenen Biegungen in den Condensator und endigt hier entweder als ein schlangenförmig gewundenes Rohr (Schlange) oder die Dämpfe treten aus demselben in den weiten Raum eines metallenen Cylinders oder Doppelcylinders, der von Außen und oft auch von Innen durch stets sich erneuerndes kaltes Wasser eine Abkühlung erleidet und mithin die Condensation der Dämpfe bewirkt (Kühlfaß). — 2) Die schräge Destillation bedarf eines noch einfacheren Apparates; statt des Kolbens, Helmes ꝛc. bedient man sich hier der Retorte, d. h. eines Kolbens mit einem langen, umgebogenen Halse und einer Vorlage, welche ähnlich wie bei der aufsteigenden Destillation gestaltet sein kann. Entweder wird der Hals der Retorte unmittelbar in den Hals der Vorlage gesteckt und dampfdicht darin befestigt, oder Retorte und Vorlage werden durch eine hinreichend weite Zwischenröhre, den Vorstoß, in welchen beide Hälse eingepaßt werden, in Verbindung gesetzt. Um der Luft den nöthigen Ein- und Austritt zu gestatten, muß die Vorlage tubulirt, d. h. noch mit einem zweiten, kurzen Halse versehen sein, in welchen ein Kork oft mit einer durchgesteckten Glasröhre eingesetzt wird. Die Retorten und Vorlagen sind gewöhnlich aus weißem oder grünem Glas verfertigt; die Retorten müssen ebenso wie die gläsernen Kolben gut und gleichmäßig geblasen sein, ohne Knoten und Luftbläschen und nicht zu dick, weil sie dann leicht springen. Man hat sowohl tubulirte, wie nicht tubulirte Retorten; die ersteren besitzen an ihrem oberen Ende einen kurzen mit einem Glasstöpsel verschließbaren Hals und werden besonders dann angewendet, wenn während der Destillation noch Flüssigkeit, namentlich Säure nachgegossen werden muß; zu diesem Zwecke befestigt man in dem Tubulus der Retorte einen, eigens dazu zweimal gebogenen Glastrichter, der zwischen der ersten und zweiten Biegung zu einer kleinen Kugel ausgeblasen ist; das Rohr dieses Trichters braucht nicht bis in die Flüssigkeit der Retorte hineinzureichen, denn dadurch, daß man in den Trichter Säure hineingießt, bis die Glaskugel mit derselben angefüllt ist, entsteht eine Flüssigkeitssäule, welche durch ihren Druck den in der Retorte befindlichen Dämpfen das Gleichgewicht hält und das Austreten derselben durch den Trichter verhindert; die beschriebene Vorrichtung wird der Welter'sche Trichter oder auch eine Sicherheitsröhre genannt. Außer den gläsernen Retorten wendet man auch häufig Porzellanretorten oder Retorten aus hessischer Tiegelmasse von ähnlicher Form an; Platinaretorten werden nur sehr im Kleinen, namentlich bei der Darstellung reiner Flußsäure, angewendet und auch hier oft durch bleierne Gefäße ersetzt; im Großen sind auch häufig für gewisse technische Zwecke statt der Retorten gußeiserne Cylinder oder eiserne Flaschen im Gebrauch. — In die Vorlage wird oftmals eine Flüssigkeit gebracht oder vorgeschlagen, welche dazu dient, um gewisse dampf- oder gasförmige Destillationsproducte zu absorbiren und in sich aufzulösen, so bei der Destillation der Salzsäure, des Ammoniaks, Salpetersäure, verschiedener Chlormetalle ꝛc. Um diese Absorption vollständig zu bewirken, bedient man sich einer Anzahl von zwei- oder dreihälsigen Flaschen, welche durch rechtwinklicht gebogene Glasröhren luftdicht mit

einander und mit dem Destillationsgefäße verbunden sind, oder des sogenannten Woulf'schen Flaschenapparates. — 3) Die absteigende Destillation unterscheidet sich dadurch, daß das Feuer von oben nach unten wirkt. Im Kleinen kann man einen Apparat zu dieser Art der Destillation aus jedem Glase darstellen; man legt über dasselbe eine angefeuchtete Leinewand mit einer sackförmigen Vertiefung, bedeckt das Glas mit einem Metallbleche und legt auf dieses glühende Kohlen. Im Großen bedient man sich zuweilen eines ähnlichen Apparates von Metall, bei dem an die Stelle der Leinewand ein metallener, schüsselförmiger Seiher tritt. Die absteigende Destillation wird gegenwärtig nur selten angewendet, jedoch geschieht dieses noch in England bei der Gewinnung des Zinks aus dem Galmei und zwar auf die Weise, daß ein im Boden durchbohrter und mit einem aufsteigenden senkrechten Rohr versehener irdener Tiegel mit der zu destillirenden Masse angefüllt und mit einem Deckel luftdicht verschlossen wird; bei dem Erhitzen des Tiegels steigen die Zinkdämpfe durch das Rohr nieder, condensiren sich in demselben und fließen tropfenweise in untergesetzte Gefäße ab.

E. W.

Detonation, Verpuffung, nennt man den von einem mehr oder weniger starken Knall, häufig auch von einer beträchtlichen Licht- und Wärmeentwickelung begleiteten chemischen Prozeß, der theils in der plötzlichen Zersetzung gewisser Verbindungen (so des Jod- oder Chlorstickstoffes bei gelinder Berührung, des Knallsilbers und Knallquecksilbers durch den Stoß), oder auch in der Vereinigung gewisser Stoffe (z. B. des sogenannten Knallgases durch den elektrischen Funken oder des Chlor- und Wasserstoffes durch das Sonnenlicht) besteht.

Deuse oder **Düse**, s. Eisen.

Dextrin nennt man ein Umwandlungsproduct der Stärke (s. d. Artikel), welches dem arabischen Gummi sehr ähnlich ist, sich aber dadurch auszeichnet, daß es die Ebene des polarisirten Lichtes stark nach rechts dreht. Daher der Name. Nach Mulder sollen die meisten Pflanzensäfte Dextrin fertig gebildet enthalten. Schon seit längerer Zeit wird es fabrikmäßig dargestellt und als Surrogat für arabisches Gummi verwendet. Das Dextrin kann durch Einwirkung von Diastas (s. d. Art.) oder von verdünnten Mineralsäuren auf Stärke dargestellt werden. Im ersten Fall rührt man 100 Th. Stärkemehl und 5 Th. Gerstenmalz mit lauem Wasser an und setzt dann dieses Gemisch einer Temperatur von 60° bis 70° aus, bis es von einer Jodlösung nicht mehr gefärbt wird. Hierbei entsteht nun auch Stärkezucker, den man durch Gährung vermittelst eines Zusatzes von Hefe zerstört oder durch Alkohol entfernt. Im anderen Falle digerirt man 100 Th. Stärkemehl mit 200 Th. Wasser, das 2 — 4 Th. Schwefelsäure enthält, eine Zeitlang bei einer Temperatur von 85° — 90° und entfernt hierauf die Schwefelsäure durch kohlensauren Baryt. Die Lösung wird filtrirt und etwas abgedampft und dann das Dextrin durch Alkohol gefällt. Das Leiocome oder Röstgummi ist dem Dextrin im Wesentlichen gleich und wird gewöhnlich durch Einwirkung von Salpetersäure auf Kartoffelstärke bei höherer Temperatur gewonnen, indem man die Masse im Oelbad vorsichtig bis zu 150° erhitzt und dabei beständig umrührt. Bemerkenswerth ist noch, daß das Dextrin sogar aus der Holzfaser dargestellt werden kann, wenn man sie in kalter concentrirter Schwefelsäure löst, die letztere durch kohlensauren Baryt entfernt und die filtrirte Lösung abdampft.

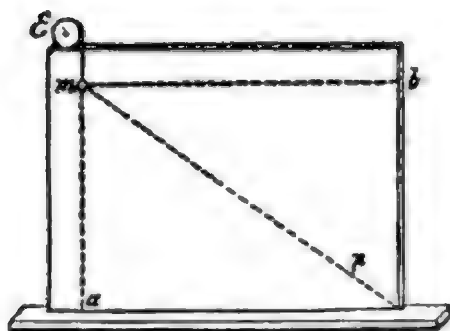
Dextrin, in warmer Luft getrocknet, erscheint als eine gelbe, harte Masse von glänzendem muschligem Bruche; es löst sich in Wasser und wässerigem Weingeist, nicht aber in absolutem und 80procentigem Alkohol. Eine kochende, gesättigte Lösung von Dextrin in Alkohol setzt beim Erkalten Dextrin als eine syrupartige Flüssigkeit ab. Das Dextrin hat die chemische Formel $C_{12}\ H_{20}\ O_{10}$ und geht durch Einwirkung der Diastas oder verdünnter Säuren leicht in Stärkezucker über. Der Stärke ist es isomer und verbindet sich, wie diese, mit Basen.

Diabetes, s. Heber.

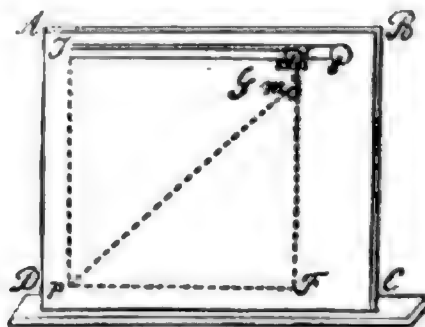
Diagometer, s. Leiter der Elektricität.

Diagonalmaschine. Man versteht hierunter eine Vorrichtung, welche geeignet ist, das Zusammenwirken zweier oder mehrerer Kräfte auf einen Punkt zu veranschaulichen. Die Diagonalmaschine von Eberhard (siehe Fig. I.) besteht aus einer Tafel mit einer Walze, um welche eine Schnur mit dem Gewichte m gewickelt ist. Wenn nun diese Walze auf dem Rande der Tafel fortrollt, so muß das Gewicht m nicht allein dieser Bewegung, in der Richtung m b, sondern auch zugleich der Schwere in der Richtung m a, nachgeben. In Folge dieser beiden Einwirkungen bewegt sich das Gewicht in der That durch die Diagonale m p. Eine ähnliche Vorrichtung hat Nollet (siehe Fig. II.) angegeben. An einem Brette A B C D ist in J ein Faden befestigt, welcher über die verschiebbare Rolle G geht und an seinem anderen Ende ein Gewicht m trägt. Schiebt man die Rolle von G nach J fort, so erhält das Gewicht m einen Antrieb zur Bewegung, sowohl nach

I.



II.

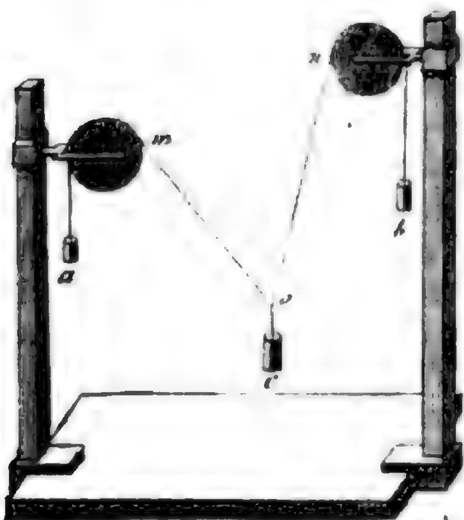


der Richtung G J, als auch nach der Richtung m F, so daß es auch hier die Diagonale m p durchläuft. Nollet hat zu demselben Zwecke noch einen anderen Apparat erdacht, der aus zwei Hämmerchen besteht, die einen beliebigen zwischen 0° und 180° liegenden Winkel mit einander bilden können, indem sie an zwei in Charnieren drehbaren Rahmen angebracht sind. Läßt man die beiden Hämmerchen, bei einer bestimmten Neigung zu einander, gleichzeitig eine Kugel treffen, so bewegt sich diese auf einer horizontalen Ebene (auf einem Billard) in der Richtung der Diagonale fort, welche den Richtungen der beiden Stoßkräfte entspricht. Oder man befestigt auf einem horizontalen Brette zwei vertikale Drähte, an denen zwei durchbohrte Billardkugeln angebracht sind. Läßt man nun diese Kugeln gleichzeitig fallen, so daß sie eine unter ihnen liegende Kugel nach zwei verschiedenen Richtungen stoßen, so wird dieselbe sich in der diagonalen Richtung fortbewegen.

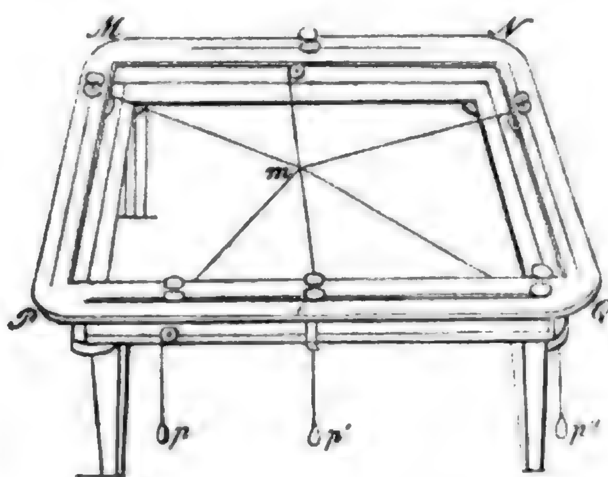
Will man das Gesetz des Parallelogrammes der Kräfte durch den Versuch bestätigen, so wird dazu auch eine Vorrichtung benutzt, die nachstehende Fig. I. zeigt. Man sieht eine Schnur, welche über zwei Rollen geht, die in derselben Vertikalebene liegen. An den Enden der Schnur sind die Gewichte a und b befestigt. Wird nun noch ein drittes Gewicht c an dem Punkt o angebracht, so wirken auf diesen drei Kräfte, welche sich bei einer bestimmten Lage der Fäden im Gleichgewichte halten werden. Man kann hier die Sache ohne Zweifel so ansehen, als ob zwei Kräfte, die den Gewichten a und b entsprechen, unmittelbar auf den Punkt o nach den Richtungen o m und o n wirkten. Durch Anwendung des Parallelogramms der Kräfte findet man für einen gegebenen Winkel mon das Gewicht c, welches an dem Punkt o anzubringen ist, um den nach o m und o n wirkenden Gewichten a und b das Gleichgewicht zu halten. In diesem Falle muß nämlich das Gewicht c der Resultirenden oder der Mittelkraft der beiden Kräfte a und b gleich sein, was durch den Versuch bestätigt wird, indem man findet, daß durch das Anhängen des Gewichtes c der Winkel m o n gleich dem gegebenen wird.

Um die Wirkung einer größeren Anzahl von Kräften auf einen Punkt zu versinnlichen, dient eine Vorrichtung von s'Gravesand. (Siehe Figur II.) Auf dem horizontalen, auf einem Gestelle ruhenden Rahmen MNPQ sind be-

I.



II.



liebig viele Rollen angebracht, über welche ungleiche Gewichte p, p′, p″ 2c. an Schnüren herabhängen, die sich sämmtlich im Punkte m vereinigen, so daß man diesen als gemeinschaftlichen Angriffspunkt der gegebenen Kräfte betrachten kann. Durch wiederholte Anwendung des Parallelogramms der Kräfte läßt sich nun immer sowohl der Größe als auch der Richtung nach eine Kraft finden, die auf den Punkt m dieselbe Wirkung hervorbringt, wie die gegebenen Kräfte zusammengenommen*). Sind aber die Gewichte und die Winkel, welche die Schnüre miteinander machen, bekannt, so kann man auch den Ort angeben, welchen der Punkt unter gleichzeitiger Wirkung der an ihm angebrachten Kräfte in irgend einem Zeitmoment einnehmen wird.

Diakaustik, s. Brennlinie.

Diakustik. Dies Wort wird zuweilen gebraucht, um damit die Lehre von der Fortpflanzung des Schalles zu bezeichnen.

*) Siehe d. Art. Bewegung. Bd. I. S. 817 ff.

Diamagnetismus, s. Magnetismus.

Diamant, ἀδάμας (lat. adamas), d. i. unüberwindlich bei den Griechen, ist reinster und dichtester Kohlenstoff. Im Alterthum kannte man nur indische Diamanten, die man heutzutage besonders am Pennarflusse, am unteren Kistna bei Ellore, bei Golconda und im Bundelkund bei Punnah findet. Im südlichen Indien ist nach Voysey das Muttergestein eine Sandsteinbreccie der Thonschieferformation, im Bundelkund nach J. Franklin in einem Sandsteingebilde, das dem new red sandstone der Engländer entspricht *). Auch auf Borneo finden sich Diamanten im Goldsande. Die brasilianischen Diamanten fand man zuerst 1727 in einigen Bächen des Districts von Serro do Frio; die Diamanten finden sich hier, so weit die Formation des Itakolumit und ähnlicher Gesteine der Quarzitfamilie reicht. Man nennt das Gestein, das aus eisenhaltigem Thon, Quarzgeröllen, Sand- und Eisenoxydfragmenten besteht, Cascalho; dasselbe findet sich am Jequetinhonha und Prado, sowohl in den Flüssen als auch in der Dammerde. Lucas fand 1815 zwei Diamanten in einem Stück des brasilianischen Itakolumit **). Im Jahre 1820 sprach Zinken die Vermuthung aus, daß die Matrix der brasilianischen Diamanten eine Varietät von Chloritschiefer sein dürfte, welche Vermuthung später von A. v. Humboldt bestimmter für den Chloritsandstein und Itakolumit geltend gemacht wurde ***). Sie hat sich durch die von Helmreich und Claussen gegebenen Nachweisungen vollkommen bestätigt. Im Jahre 1827 fand ein Neger-Sclave den ersten eingewachsenen Diamant und im Jahre 1836 wurde ein förmlicher Bergbau auf Diamanten im Itakolumit der Serra do Grao-Mogór begonnen, dessen Betrieb jedoch nach einigen Jahren wieder eingestellt wurde ****). Die Aehnlichkeit der geognostischen Verhältnisse am Ural mit den Diamantdistricten Brasiliens rief die Vermuthung hervor, daß auch am Ural sich Diamanten finden würden, deren Aufsuchung A. v. Humboldt eifrig betrieb. 1829 fand man auch deren. Man erhält die Diamanten aus dem Sande durch Fortwaschen der leichteren erdigen Theile und Auslesen aus den rückständigen gröberen Kieseln *****). — Die Diamanten finden sich in Körnern und Krystallen vor; letztere gehören dem regulären Systeme an, haben meist eine rauhe Oberfläche, sind wasserhell, doch auch gefärbt und zwar in den verschiedensten Nüancen von Weiß und Grau, zuweilen auch von Gelb, Grün und Braun; seltener sind sie kirsch- oder rosenroth, blau oder schwärzlich braun. Die Krystalle sind vollkommen spaltbar nach den Octaederflächen †), welche einen dem Diamant eigenthümlichen Glanz besitzen. Er ist der härteste aller Körper, wird von der härtesten Feile nicht angegriffen. Eine Kante seiner Krystalle, welche von zwei ebenen Flächen gebildet wird, ritzt nur Glas, aber eine von zwei gekrümmten Flächen gebildete Kante ritzt nicht nur die Oberfläche, sondern erzeugt auch eine Spalte von geringer Tiefe, weshalb der Diamant zum Schneiden von Glas benutzt wird. In Folge der großen Härte läßt sich der Diamant nur durch Diamantpulver (Demantbord) schleifen. Das Diamantpulver ist von schwarzer Farbe. Der Dia-

*) Edinburgh Journ. of Science. T. IX. Juli 1831.
**) Nouveau Dictionn. d'histoire natur. Art. Diamant.
***) Poggend. Ann. Bd. VII. S. 520.
****) Naumann's Geognosie 1851. Bd. I. S. 547.
*****) Zerenner's Diamantenwäsche. Leipzig 1851. Bei W. Engelmann.
†) Vergl. Kopp's Krystallographie 1849. S. 118.

mant ist Nichtleiter der Elektricität und leitet auch die Wärme nicht gut; sein specifisches Gewicht variirt zwischen 3,5 — 3,6. Seine specifische Wärme ist nach De la Rive und Marcet 0,1192, nach Regnault 0,14687. Er ist bei Abschluß der Luft auch in den höchsten Temperaturen vollkommen unzerstörbar. An der Luft erhitzt, fängt er, ungefähr bis zum Schmelzpunkt des Silbers erhitzt, an zu brennen und er verbrennt vollständig zu Kohlensäure. Bringt man ihn glühend in Sauerstoffgas, so fährt er fort, darin zu verbrennen. Auch durch schmelzenden Salpeter, durch concentrirte Salpetersäure, durch eine Mischung von 2fach chromsaurem Kali und Schwefelsäure wird der Diamant zu Kohlensäure oxydirt. Daß der Diamant ein brennbarer Körper sei, schloß Newton schon aus der starken Lichtbrechung desselben. Auf Veranlassung von Cosmus III., Großherzogs zu Toskana, wurden 1694 im Focus von Brennspiegeln die ersten Diamanten verbrannt; gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts verbrannten Macquer und Lavoisier Diamanten und der Letztere zeigte, daß bei der Verbrennung nur Kohlensäure gebildet werde. In der neueren Zeit sind zur Bestimmung des Atomgewichts des Kohlenstoffs von Erdmann und Marchand, Dumas und Staß bedeutende Quantitäten Diamant zu Kohlensäure verbrannt worden *). Petzholdt hat mit Hülfe des Mikroskopes in der Asche verbrannter Diamanten vegetabilisches Zellgewebe entdeckt **), das indessen von anderen Beobachtern nicht aufgefunden werden konnte. Jacquelain hat in der neuesten Zeit gefunden, daß der Diamant unter dem Einflusse intensiver, durch eine galvanische Batterie hervorgebrachter Hitze in Coks oder Graphit übergehe ***), was auch von Despretz beobachtet wurde ****). Gassiot fand, daß ein Diamant unter dem Einflusse der Hitze, welche zwischen zwei Kohlenspitzen durch eine starke Grove'sche Batterie hervorgebracht wurde, allmälig an Volumen zunahm und dann plötzlich zu dem 8 — 10 fachen seiner ursprünglichen Größe anschwoll; er war jetzt glasartig, weiß und undurchsichtig. Bei anderen Versuchen zersplitterte der Diamant und die Fragmente waren kohlenartig *****). Brewster entdeckte in Diamantkrystallen zahlreiche kleine Höhlungen, um welche herum die Masse, wie er durch die optische Untersuchung fand, dichter ist als in den übrigen Theilen. Er glaubt daraus schließen zu dürfen, daß dieses von einer von den Höhlungen aus wirkenden Compressionskraft herrühre, der Diamant sich ehedem in einem weichen Zustande wie halb eingetrocknetes Gummi befunden habe und wahrscheinlich vegetabilischen Ursprungs sei †). Auch ein berühmter Chemiker hat neuerlich die Ueberzeugung ausgesprochen, daß der Diamant auf nassem Wege sich gebildet habe ††). — Brewster beobachtete an einigen Diamanten doppelte Strahlenbrechung, die man bei Krystallen des regulären Systemes nicht erwartet. Bei näherer Untersuchung entdeckte er eine große Menge paralleler Striche, welche anzudeuten schienen, daß der Diamant aus vielen Schichten von ungleicher Brechbarkeit

*) Journ. f. prakt. Chemie Bd. XXII. S. 300 und Bd. XXIII. S. 168.

**) Journ. f. prakt. Chemie. Bd. XXIII. S. 477.

***) Liebig's Jahresbericht 1847 und 48 S. 333.

****) Liebig's Jahresbericht 1849 S. 37.

*****) Liebig's Jahresbericht 1850 S. 252.

†) Poggend. Ann. Bd. VII. S. 484 und Bd. XXXVI. S. 563.

††) Liebig, die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie 1842. S. 291.

bestehe. Trecourt und Oberhäuser, welche diese Linien schon früher beobachtet haben wollen, halten sie für Kanäle, die bei der Krystallisation leer geblieben sind. Macculagh glaubt, es lasse sich die Doppelbrechung beim Diamant dadurch erklären, daß man annimmt, es werde das durch einen Diamant gehende Licht elliptisch polarisirt. Er wurde auf diese sehr wahrscheinliche Ansicht durch die von ihm und Airy beobachtete Thatsache geführt, daß das Licht bei seiner Reflexion auf der Oberfläche des Diamanten eine Phasenveränderung erleide und wie bei den Metallen elliptisch polarisirt werde *). Was die Anwendung des Diamantes anbelangt, so trugen die Alten die Diamanten nicht sowohl zum Schmuck, sondern als Amulet. In späteren Zeiten polirte man die natürlichen Flächen des Octaeders und nannte solche Diamanten Spitzsteine. Die Kunst ihn zu schleifen und zu poliren, wurde 1476 von Ludwig von Berghen (oder Berquen) erfunden. Die Größe bestimmt den Werth der Diamanten, wobei man sie wiegt, das Loth in 72 Karat theilt und sodann den Preis eines einkaratigen Steines, der nach Farbe und Reinheit verschieden sein kann, mit dem Quadrat der Karatzahl multiplicirt, obgleich bei Steinen von mehr als 10 Karat Gewicht der Werth über die nach dieser Methode gefundene Zahl desto mehr hinausgeht, je größer der Stein ist **). Die bedeutendsten der bekannten Diamanten sind der Diamant des Raja von Matun auf Borneo, der über 300 Karat schwer, eiförmig und vom reinsten Wasser ist. Der Diamant des Großmoguls wiegt 279 Karat. Der Diamant des Kaisers von Rußland wiegt 193 Karat. Der Diamant im Schatze zu Wien wiegt 139 Karat. Der Diamant der ehemaligen französischen Krone, genannt Regent oder Pitt, wog vor dem Schleifen 410 Karat, nach dem Schleifen 136 Karat. Der Diamant des portugiesischen Schatzes, der roh und birnförmig ist und ein Gewicht von 1680 Karat hat, soll ein Topas sein. Der 6400 Karat schwere Diamant des Sonderling Beireis zu Helmstedt, von welchem er behauptete, daß der Kaiser von China dieses kostbare Juwel bei ihm versetzt habe, soll ein madagaskarischer Kiesel gewesen sein. — In der neuesten Zeit ist man auf einen großen Diamant, genannt Diamant des Nizam, aufmerksam geworden, der 277 Karat wiegen soll ***). In England hat man versucht, Linsen aus Diamant darzustellen, die allerdings sich recht passend erweisen, der großen Härte wegen aber schwer zu schleifen und daher theuer sind ****). Versuche, Diamanten auf künstlichem Wege darzustellen, haben bis jetzt noch zu keinem Resultate geführt. — Literatur: Encyklopädie der Wissenschaften und Künste von Ersch und Gruber, I. Sect. Bd. XXIV. S. 456; Ritter's Erdkunde in Asien. Bd. IV. S. 343; Spix und Martins Reise in Brasilien. Bd. II. S. 433; Eschwege, Reise in Brasilien. Bd. II. S. 105; G. Rose, Reise nach dem Ural. Bd. I. S. 352; Petzholdt, Beiträge zur Naturgeschichte des Diamanten. Dresden 1842. R. W.

Dianenbaum, s. Metallbaum.

Diaphanometer, s. Durchsichtigkeit.

---

*) Poggend. Ann. Bd. XLIII. S. 242 und Bd. XLIV. S. 544; Berzelius, Jahresbericht. Bd. XIX. S. 37.

**) Handw. d. Chem. u. Phys. Bd. I. S. 575.

***) Sillimans Journ. Bd. IX. S. 422 u. Chem.-Pharm. Centralbl. 1850. S. 744.

****) Poggend. Ann. Bd. XV. S. 517.

Diaphragma. Ein kreisförmiger Ring, welcher bei Fernröhren und zusammengesetzten Mikroskopen (s. d. Artikel) da angebracht ist, wo das durch das Objectivglas erzeugte Bild hinfällt. Er hat den Zweck, alles an der Grenze des Bildes befindliche, unordentlich zerstreute Licht abzuhalten.

Diasporameter, s. Linsen.

Diastas (von *διάστασις* abgeleitet) nennt man die 1833 von Payen und Persoz entdeckte Pflanzensubstanz, welche in gekeimten Getreidesamen und den stärkereichen Wurzelknollen enthalten ist. Vor der Keimung findet sie sich in den genannten Pflanzenkörpern nicht. Sie besitzt das Vermögen beträchtliche Mengen von Stärke in Dextrin und bei längerer Einwirkung in Zucker zu verwandeln; 1 Th. Diastas soll 2000 Th. Stärke in Dextrin und 1000 Th. in Zucker (siehe diesen Artikel) verwandeln. Auch im Pflanzenleben scheint ihre Aufgabe zu sein, das löslich gemachte Stärkemehl in den Stoffwechsel einzuführen. Man bereitet das Diastas gewöhnlich aus gekeimter Gerste; diese wird gröblich gepulvert und wiederholt mit Wasser bei circa 30° extrahirt. Der Wasserauszug wird bis auf 75° zur Gerinnung des Pflanzeneiweißes erwärmt und dann filtrirt. Aus dem Filtrat wird durch Hinzufügung von Alkohol das Diastas als ein flockiger Niederschlag gefällt. Getrocknet erscheint es als eine weiße, amorphe, in Wasser und in schwachem Weingeist lösliche, aber in stärkerem Alkohol unlösliche Substanz. Bei 100° wird ihre eigenthümliche Wirkung auf Stärke gänzlich gestört; am kräftigsten scheint sie bei einer Temperatur von 65° — 70° zu sein.

Diathermanität, Wärmedurchlassungsvermögen, ist ein von Melloni in die Wärmelehre eingeführtes Wort. Dasselbe bezeichnet nichts anderes als die Fähigkeit eines Körpers, einen bestimmten Theil der auffallenden Wärmestrahlen durchzulassen, und hat somit für die letzteren eine ganz ähnliche Bedeutung wie die Durchsichtigkeit hinsichtlich der Lichtstrahlen. Uebrigens steht die Fähigkeit eines Körpers, Wärmestrahlen durchzulassen, — also seine Diathermanität, in keiner bestimmten Beziehung zu seiner Durchsichtigkeit. So sind z. B. Steinsalz, Kalkspath, krystallisirter Gyps beinahe von gleicher Durchsichtigkeit, lassen aber die strahlende Wärme in sehr ungleicher Menge durch. Schwarzes Glas und schwarzer Glimmer sind beinahe ganz undurchsichtig, gestatten aber dennoch einer ziemlich beträchtlichen Wärmemenge den Durchgang. Eine klare Wasserschicht, welche zwischen zwei durch Kupferoxyd grüngefärbten Glasplatten enthalten ist, absorbirt die auffallenden Wärmestrahlen vollständig, während die Lichtstrahlen ohne merklichen Verlust hindurchgelassen werden. Den Gegensatz zu den diathermanen Körpern, welche die strahlende Wärme mehr oder weniger leicht durchdringt, bilden die athermanen Körper, d. h. solche, welche keine strahlende Wärme durchlassen. — Die wichtigsten Aufschlüsse über diesen Gegenstand verdankt man Melloni. Das Weitere s. im Artikel Wärme, strahlende.

Diathermansie. So nennt man nach Melloni die Eigenschaft der Körper, gewisse Wärmestrahlen vorzugsweise durchzulassen und andere vorzugsweise zu absorbiren oder zu reflectiren. Es hat sich nämlich durch Versuche herausgestellt, daß die Strahlen verschiedener Wärmequellen von einem und demselben diathermanen Körper nicht mit gleicher Leichtigkeit durchgelassen werden. Es folgt hieraus, daß die Strahlen verschiedener Wärmequellen nicht durchweg von gleicher Beschaffenheit sind. Diese Verschiedenheit zeigt sich auch darin, daß die von einem Körper bereits durchgelassenen Wärmestrahlen durch den einen oder anderen Körper

mit größerer oder geringerer Leichtigkeit gehen. So werden Wärmestrahlen, welche durch eine Glasplatte gegangen sind, von einer Alaunplatte gänzlich absorbirt, obgleich dieselbe Alaunplatte fast alle Wärmestrahlen durchläßt, welche vorher eine Schicht Citronensäure durchdrungen haben. Es findet also zwischen den Wärmestrahlen ein ähnlicher Unterschied statt wie zwischen Lichtstrahlen, wenn diese durch verschiedene gefärbte Mittel gehen müssen. Da das Steinsalz die Strahlen aller Wärmequellen in demselben Verhältniß durchläßt, so verhält es sich ähnlich zur Wärme wie vollkommen durchsichtiges Glas zum Lichte, während sich die übrigen Körper zur Wärme, wie die farbigen Mittel zum Lichte verhalten. Das Steinsalz ist also ohne Diathermansie, was auch von glatten Metallflächen gilt, in sofern nämlich, als sie alle Arten von Wärmestrahlen mit gleicher Leichtigkeit reflectiren. Indessen findet zwischen der Diathermansie und Färbung eines Körpers nicht etwa eine solche Beziehung statt, daß man von der einen Eigenschaft auf die andere schließen kann. Dies geht im Allgemeinen nicht an. Doch haben neuere Untersuchungen von Masson und Jamin *) zu dem Resultat geführt, daß farbige Mittel, wie rothes Glas, verschiedene grüne Gläser, Orseilletinctur, Lösungen von schwefelsaurem oder saurem chromsauren Kupferoxyd in Ammoniak, welche nur eine bestimmte Farbe durchlassen, auch nur von den dieser Farbe entsprechenden Wärmestrahlen durchdrungen werden. Eine ähnliche Beziehung zwischen Licht- und Wärmestrahlung zeigte sich bei solchen Mitteln, welche zwei Farbenbänder durchlassen. Dahin gehört z. B. Chromchlorür, welches Roth und Grün, und violettes Glas, das Roth und Violet durchläßt. Auch sollen hierbei stets proportionale Antheile der Licht- und Wärmestrahlen hindurchgehen. Dagegen bemerkt Melloni in seinem neuesten Werke über die strahlende Wärme **), daß die von Masson und Jamin behauptete Proportionalität zwischen Licht- und Wärmestrahlung nicht in allen Fällen wahrgenommen werde, da Strahlen, welche durch Wasser oder Alaun gegangen seien, durch farbige Gläser hinsichtlich ihrer leuchtenden Kraft ganz andere Veränderungen erlitten als in Bezug auf ihre erwärmende. So gebe ein Glas, welches nur Roth und Orange durchlasse, ein zwar lichtschwaches aber warmes Strahlenbündel, während bei einem Glase, das Gelb, Grün rc. durchlasse, gerade das Gegentheil stattfinde. Man sehe auch hierüber das Weitere im Artikel Wärme, strahlende.

Dichroismus, s. Polarisation.

Dichroit, Peliom oder Cordierit; die Krystalle haben zur Grundform eine zweigliedrige Säule von 190°, sind aber gewöhnlich sechsseitige Prismen mit abgestumpfter sechsseitiger Pyramide. Sie haben eine unvollkommene Spaltbarkeit und eine rauhe Oberfläche. Bruch muschlig. Härte des Quarzes; Glas- oder Fettglanz; specifisches Gewicht = 2,5 — 2,6. Er zeigt längs seiner Axe eine röthliche, in der darauf senkrechten Richtung aber eine blaue Farbe, worauf sich der von δίχροος = zweifarbig gebildete Name bezieht. Er hat zwei Axen doppelter Brechung und kann wie der Turmalin zu optischen und mineralogischen Zwecken benutzt werden ***).

---

*) Compt. rend. T. XXXI. p. 14. Liebig's u. Kopp's Jahresbericht 1850. S. 67.
**) La thermochrose, ou la coloration calorifique, première partie, Naples 1850.
***) Poggend. Ann. Bd. VIII. S. 248.

Dichte, Dichtigkeit (lat. densitas, franz. densité, engl. density) ist die in der Einheit des Volumens enthaltene Masse eines Körpers. Es erhellt, daß der Begriff der Dichte eine lediglich relative Bedeutung hat. Vergleicht man nämlich zwei Körper von gleichem Volumen mit einander, so nennt man denjenigen, welcher die größere Menge Materie in sich faßt, den dichteren. Bezeichnet nun D die in der Volumeneinheit enthaltene Masse eines Körpers, so findet die Masse M für das Volumen V ihren Ausdruck in der Formel $M = DV$. (1). Da das Gewicht eines Körpers seiner Masse proportional ist, so dienen die Gewichte zur Vergleichung der Massen. Das Gewicht irgend eines Körpers ist gleich dem Product aus seiner Masse, d. h. aus der Menge seiner Materie in die Intensität der Schwere oder in die Beschleunigung, womit der Körper fällt oder zu fallen strebt. Stellt man also allgemein die Masse durch M, die Beschleunigung der Schwere durch g und das Gewicht des Körpers durch P vor, so ist $P = gM$. (2). Weil an demselben Orte alle Körper mit gleicher Geschwindigkeit fallen, so ist in sofern auch der Werth von g für alle Körper derselbe und deshalb das Gewicht der Masse proportional. Während nun die Masse eines Körpers stets dieselbe bleibt, wohin er auch gebracht werde, ändert sich dagegen g von einem Orte zum andern. Doch ist der Unterschied hinsichtlich der Werthe von g nur für solche Orte beträchtlich, welche sehr weit aus einander liegen.

Setzt man für M den Werth, welchen die Formel (1) giebt, in die Gleichung (2), so erhält man $P = gDV$. Bezeichnet man aber bei einem anderen Körper von demselben Volumen das absolute Gewicht durch P' und die Dichte durch D', so hat man ebenso $P' = gD'V$. Daher auch $P : P' = gDV : gD'V = D : D'$.

Wenn also zwei verschiedenartige Körper gleichen Rauminhalt haben, so verhalten sich die absoluten Gewichte derselben wie ihre Dichtigkeiten. Ein Körper ist nun in demselben Verhältniß dichter als ein anderer, in welchem er mehr Gewicht wie dieser besitzt. Will man die Dichtigkeiten verschiedenartiger Körper mit einander vergleichen, so muß man die Dichte irgend eines Körpers als Einheit annehmen. Man hat hierzu das reine Wasser bei 4° C. gewählt, welches sich für diese Temperatur im Zustande der größten Dichte befindet. Die Dichtigkeiten der übrigen Körper werden dann durch Zahlen ausgedrückt, welche angeben, wie viel Mal ihre Massen größer sind als die Masse eines gleichen Volumens Wasser.

Weil in verschiedenen Partien eines und desselben Körpers eine ungleiche Dichte stattfinden kann, so sind die gleichförmig dichten von den ungleichförmig dichten Körpern zu unterscheiden. Selbst Körper, die im gewöhnlichen Zustande durchaus gleichartig sind, können durch ungleiche Erwärmung oder Erkältung oder auch durch ungleichen Druck in ihren verschiedenen Theilen eine verschiedene Dichte erlangen. Bei den ungleichförmig dichten Körpern hat man nun den Begriff der mittleren Dichte eingeführt, worunter man eine solche versteht, welche die verschiedenen Dichten alle zumal vertreten kann.

Da die Körper durch die Wärme ausgedehnt werden, so muß die letztere auf die Dichte einen leicht zu begreifenden Einfluß ausüben, der namentlich für die tropfbaren und gasförmigen Körper in Betracht kommt, vorzugsweise aber für die letzteren, bei welchen überdies noch auf den äußeren Druck Rücksicht zu nehmen ist, dem sie während der Bestimmung ihrer Dichte ausgesetzt sind.

Setzt man in der Formel $P = gDV$ das Volumen $V = 1$, so erhält man $gD = S$ als Ausdruck für das specifische Gewicht. Daher auch $P = SV$ und $S = \frac{P}{V}$. Für irgend einen anderen Körper hat man auf dieselbe Weise $S' = \frac{P'}{V'}$. Aus den beiden zuletzt aufgestellten Formeln folgt aber die Proportion: $S : S' = \frac{P}{V} : \frac{P'}{V'}$. Ist nun $V = V'$, so erscheint $S : S' = P : P'$. D. h. die specifischen Gewichte verschiedenartiger Körper verhalten sich wie die absoluten Gewichte gleicher Volumina derselben. Das specifische Gewicht eines Körpers ist nun eben nichts anderes als die Zahl, welche anzeigt, wie viel Mal derselbe schwerer ist als ein gleiches Volumen eines anderen zur Einheit gewählten Körpers. Da die Dichten sich verhalten wie die specifischen Gewichte, so fallen in sofern die Untersuchungen über die Dichten der Körper mit denen über die specifischen Gewichte zusammen.

Was die verschiedenen Methoden betrifft, welche man zur Ermittelung des specifischen Gewichtes oder der Dichte der Körper anwendet, so sind einige derselben schon in den Artikeln Aräometer und Dampf ausführlich abgehandelt worden. Andere werden in dem Artikel Gewicht, specifisches zur Sprache kommen. Eine Tabelle der Dichtigkeiten, sowohl der tropfbaren als auch der ausdehnsamen Flüssigkeiten findet sich bereits in dem Artikel Dampf (S. 184 ff.) vor. Die nachstehende Tabelle enthält noch die Dichten verschiedener fester und tropfbar flüssiger Körper.

Dichte fester und tropfbarer Körper.

Name der Körper	Dichte	Name der Körper	Dichte
Achat (Brisson)	2,667 2,333	Ambra, grau	0,780 0,926
Alabaster (Brisson)	2,611 2,811	″ grün ″ roth	1,083 1,083
″ Alaun	1,874 1,714	″ schwarz	1,078 1,080
Alaunschiefer (Kirwan)	2,339 2,588	Amethyst Amianth	2,655 2,3134
Alaunstein (rhomb. Alaunhaloid) (Mohs)	2,5 2,8	Ammoniak concentrirt Ammoniak wolframsaures (Hassenfratz)	0,875 1,938
Alaunstein derb	2,671	Ammoniak schwefels. (Hassenfratz)	1,768
Alaunstein kryst.	2,694	″ salpeters. ″	1,578
Albit	2,61 2,68	″ phosphors. ″ ″ kohlens. ″	1,898 0,966
Alkohol absoluter bei 20° C. (Schmidt)	0,791	Anhydrit	2,899
Aluminit	1,669 1,105	Anthracit	1,40 1,480 1,800
Amalgam, natürliches (dodek. Merkur) (Mohs)	10,5 13,755	Antimon	6,723

Name der Körper	Dichte
Antimonblende	4,600
= glanz	4,10
	4,620
= ige Säure	6,525
	6,693
= oxyd	5,360
	5,778
= silber	9,44
	9,820
Apatit (rhomb. Flußhaloid)	3,128
	3,225
Aquamarin	2,630
	2,722
Arsenige Säure	3,698
	3,738
Arsenik, gediegen und rein	5,672
Arsenikkies (axotom.)	7,228
= prismatisch	6,127
Arseniknickel	7,655
Arseniksäure	3,39
	3,734
Asbest (Brisson)	0,908
= biegsamer	2,444
= gemeiner	2,050
	2,675
Asphalt	1,070
	1,160
Augit	3,226
	3,777
Auripigment	3,48
Azurspath	3,039
Balsam, peruvianisch	1,150
Baryt, wasserfreier (Hassenfratz)	2,374
	4,000
Baryterde, essigsaure =	1,828
= phosphors. =	1,2867
= salpeters. =	2,915
= salzsaure =	2,826
= schwefels. =	3,125
Baryum	4,000
Basalt	2,722
	2,864
=	2,421
	3,330
Bergkork	0,680
	0,993
Bergkrystall, farblos	2,650
Bergmehl	0,362
	1,372
Bergnaphta, rectificirt	0,758
Bergtheer	1,100
	1,130
Bernstein, durchscheinend	1,078
Bernstein, undurchsichtig	1,0855
Bernsteinsäure	1,550
Beryll	2,650
	2,722
Bimsstein	0,914
	1,647
Bittererde	2,300
Bittersalz, natürliches (Mohs)	1,751
= wasserfrei	2,606
Blasenstein von Menschen	1,700
	1,714
Blei, reines (Kupffer)	11,3303
	11,445
= geschmolzen	11,352
Bleiglätte	9,277
	9,5
Bleioxyd	9,209
Bleivitriol	6,298
	6,70
Blut des Menschen	1,054
Blutkuchen	1,126
Blutwasser	1,0250
	1,0310
Blutstein	4,360
Bolus	1,60
	2,000
Borax (Mohs)	1,716
= glas	2,600
= säure, geschml.	1,803
Brauneisenstein (prism. Eisenerz) (Mohs)	3,8
	4,2
Braunkohle (harzige Steinkohle) (Mohs)	1,270
Braunkohle	1,22
	1,288
Braunstein	3,10
Brechweinstein	2,246
Brom (Ballard)	2,966
Bronze, 1 Zinn, 4 Kupfer (Marchand)	8,9201
Butter (Brisson)	0,942
Cacaobutter (Brisson)	0,892
Cadmium, rein (Herapath)	8,659
Calomel	6,707
Campher (Brisson)	0,986
	0,996
Cannelkohle	1,423
Carneol	2,620
Cautschouc	0,934
Chalcedon	2,207
	2,691
Chinasäure	1,637
Chlor, tropfbares	1,330
= wässeriges	1,003

Name der Körper	Dichte
Chlorammonium	1,42
Chlorbaryum	3,860 4,156
Chlorblei (Monro)	5,238 5,336
=	5,802
Chlorcalcium	2,214
=	2,269
Chlorkalium, kryst. (Kirwan)	1,826
=	1,86
Chlornatrium	2,170
Chlorsilber (Boullay)	5,548
=	5,50
Chlorstickstoff	1,653
Chrom	5,900
Chromoxyd	2,5 2,6
Citronensäure	1,617
Coffein	1,23
Cyan, flüssig (Faraday)	0,900
Diamant, farblos, orientalisch (Haidinger)	3,521
Diamant, grün (Haidinger)	3,523
= orange =	3,550
= rosenroth =	3,531
= (octaed.) weiß (Mohs)	3,520
= brasilianisch (Haidinger)	3,444
Eis (Muschenbroek)	0,888
= (Kraft)	0,905
= (Irvine)	0,937
= (Williams)	0,945
= (Heinrich)	0,905
= (Royer und Dumas)	0,950
= (Osann)	0,927
Eisen (octaed.), gediegen (Mohs)	7,768
= gegossen (Brisson)	7,207
= geschmiedet	7,788
= gehämmert (Baudrimont)	7,7433
= Roheisen	7,251
Eisendraht*), ungeglüht	7,6305
= geglüht	7,6000
= ungeglüht gewalzt	7,7169
= geglüht gewalzt	7,7312
Eisenocher	2,950
Eisenoxydul (Herapath)	5,300
= kieselsaures	3,500 3,870
Eisenoxyd (Herapath)	4,959
= (Rose)	5,169
Eisenoxydhydrat	3,922
=	3,94
Eisenoxydul = oxyd, Hammerschlag (Breithaupt)	3,500 5,48
Eisensinter (Ullmann)	2,40
=	2,20
Eisenvitriol	1,832
Eiweiß, getrocknet	1,344
Elfenbein	1,825
Erde, lehmicht, festgestampft	2,060
= frisch	2,060
= trocken	1,930
Erdöl (schwarzes Erdharz) (Mohs)	0,8 1,2
Erdöl, braun (Mohs)	0,828
= schwarz =	1,073
= hyazinthroth =	1,160
Essiggeist, brenzlicher (Macaire)	0,828
Feldspath (Haidinger)	2,437 2,600
Fett von Hammel (Brisson)	0,924
= = Kalb	0,934
= = Ochsen	0,923
= = Schwein	0,937
Feuerstein	2,580
Flourcalcium	3,15
Flußspath (Haidinger)	2,614
= (Mohs)	3,194
=	3,094
=	3,130
Gelberde (Breithaupt)	2,240
Gerste	1,278
Glanze (Mohs)	4,2 7,6
Kupferglanz (Mohs)	4,4 5,8
Silberglanz =	6,9 7,2
Bleiglanz =	7,4 7,6
Tellurglanz =	7,0 7,2
Molybdänglanz =	4,4 4,6
Wismuthglanz =	6,1 6,4
Antimonglanz =	4,2 5,8
Glanzkohle, harzlose Steinkohle (Mohs)	1,482

*) Ann. de chim. et de phys. T. LX. p. 78 sq. — Dingler's polytechn. Journal. Bd. 59. S. 273 ff.

Name der Körper	Dichte
Glas, böhmisches Bouteillenglas	2,732
Glas aus Glaubersalz	2,545
= aus Borax	2,600
= Fensterglas	2,642
= Krystallglas	2,892
= gemeines Flaschenglas	2,760
= französisch weißes	2,892
Spiegelglas von St. Gobin	2,370
= = Neuhaus	2,560
= englisches	2,450
Flintglas, englisches	3,373
= =	3,442
= französisches	3,158
= =	3,200
= deutsches von Körner	3,341
= von Fraunhofer	3,779
= von Guinand	3,616
Glaubersalz, natürliches	1,4
= =	1,5
= wasserfrei, krystall.	2,462
= =	2,331
Glimmer (Mohs)	1,8 4,3
Kobaltglimmer (Mohs)	4,0 4,3
Eisenglimmer =	2,6 2,7
Graphitglimmer =	1,8 2,1
Talkglimmer =	2,7 3,0
Perlglimmer =	3,0 3,1
Glimmer, silberweiß aus Sachsen (Haidinger)	2,45
Glimmer vollkommen spaltbar (Haidinger)	2,883
Gold (hexaedr.)	7,6
= gediegen in Geschieben (Haüy)	14,857
= gediegen	18,00
= gegossen	19,238
= rein geschmolzen (Haüy)	19,2527
= gehämmert (Brisson)	19,362
= = =	19,60
= gemünzt in holländischen Ducaten (derselbe)	19,352
= in kaiserl. Ducaten	18,852
= in englischen Guineen	17,629
= französisches Geld	17,553
= portugies. Münze	17,966
= spanische =	17,655
Granat (dodek.) gemein. braun (Mohs)	3,769
Granat, edler aus Tyrol (Mohs)	4,098
Granit, grau	2,728
Granit, grün von Dauphiné	2,683
= von Aegypten	2,728
= roth von Aegypten	2,654
Graphit (Karsten)	2,247 2,419
Graphit (rhomb. Graphitglimmer) (Mohs)	1,8 2,1
Gummi, arab.	1,31
= =	1,452
= Gutti (Brisson)	1,2216
= Lac =	1,139
= Tragant	1,3161
Gußstahl	7,919
Gyps (prismatoid. Gypshaloid), durchsichtiger (Mohs)	2,310
Gyps, blättriger (Haidinger)	2,473
= compacter =	1,872
= halbdurchsichtiger =	2,3062
= undurchsichtiger =	2,1673
= =	2,964
Himmelskörper:	
Ceres	0,736
Erde (Daubeny)	4,5
= (Hutten)	4,71
= (Carlini)	4,39
= Mittelwerth	4,60
Juno	2,44
Jupiter	0,97
Mars	3,04
Merkur	11,3
Pallas	4,32
Saturn	0,44
Sonne	1,10
Uranus	8,51
Venus	4,64
Vesta	5,52
Hirschhornsalz	1,496
Holz:	
Holzfaser (eigentliche Holzsubstanz)	1,5000
= Ahorn, frisch	0,9036
= = getrocknet	0,6592
= Birke, frisch	0,9012
= = getrocknet	0,6247
= Birnbaum	0,9012
= Brasilienholz (Griffith)	1,031 1,132
= Buchenholz, frisch	0,982
= = trocken	0,590

Name der Körper	Dichte
Holz, Buxbaum	1,330
„ Campeschen (Muschenbroek)	0,9130
„ Cedernholz, wildes	0,575
„ „ aus Palästina	0,613
„ „ indisches	1,315
„ „ amerikanisches	0,561
„ Cocosholz (Griffith)	1,336
„ Cypressen, spanisch	0,644
„ Ebenholz	1,226
„ Edeltanne, frisch	0,8941
„ „ getrocknet	0,5550
„ Eibenbaum, holländ.	0,788
„ „ spanisch	0,807
„ Eiche von Kern 60 J. alt	1,170
„ Erle, frisch	0,8571
„ „ getrocknet	0,5001
„ Esche, frisch	0,9036
„ „ trocken	0,6440
„ Espe, frisch	0,7654
„ „ getrocknet	0,4302
„ Fernambuk	1,014
„ Guajacholz (Griffith)	1,341
„ Haselnußholz	0,600
„ Hollunderbaumholz	0,695
„ Kork	0,240
„ Kiefer, frisch	0,9121
„ „ getrocknet	0,5501
„ Kirschbaum	0,715
„ Lerche, frisch	0,9206
„ „ getrocknet	0,4735
„ Lindenholz, frisch	0,8170
„ „ getrocknet	0,4390
„ Mahagoni	1,06
„ Maulbeerbaumholz	0,897
„ Pappel, gemeine	0,383
„ „ spanische, weiße	0,529
„ „ italienische, frisch	0,7634
„ „ getrocknet	0,3931
„ Roßkastanie, frisch	0,8614
„ „ getrocknet	0,5749
„ Rothtanne, frisch	0,8699
„ „ getrocknet	0,4710
„ Saalweide, frisch	0,7155
„ „ getrocknet	0,5289
„ Schwarzpappel, frisch	0,7795
„ „ getrocknet	0,3656
„ Sommereiche vom Kern	0,618
„ „ frisch	0,693
„ „ trocken	0,720 0,795
„ Steineiche	0,900 1,100
„ Traubeneiche, frisch	1,0754

Name der Körper	Dichte
Holz, Traubeneiche, getrocknet	0,7075
„ Ulme, frisch	0,9476
„ „ getrocknet	0,5474
„ Wachholderholz	0,556
„ Walnußbaum	0,671
„ Weide, weiße, frisch	0,9859
„ „ getrocknet	0,4873
Honig	1,450
Honigstein (Mohs)	1,597
Hornblende	2,922
„	3,410
Hornsilber (Herapath)	5,129
Hornstein	2,530
„	2,653
Hypersthen	3,390
Jaspis, blutrother	2,6277
„ grauer	2,764
„ grüner	2,6274
Indigo, sublimirter	1,35
Indigo	0,769
Indigoblau (Dumas)	1,35
Jod bei 0° C. (Gay-Lussac)	4,948
Jodkalium	2,908
Jodsilber	5,02
Iridium in Pulver (Berzelius)	15,863 19,500
„ in Stücken	15,588
„	18,600
„ gediegen	21,85
Judenpech	1,104
Kadmium bei 13° R. gegossen (Mitscherlich)	8,604
Kadmium	8,6355
„ gehämmert (Mitscherlich)	8,6944
Kalihydrat	1,708 2,100
Kalilauge nach Dalton	
mit 100 Theilen Kali	2,40
84 „ „	2,20
72,7 „ „	2,00
63,6 „ „	1,88
56,8 „ „	1,78
51,2 „ „	1,68
46,7 „ „	1,60
42,9 „ „	1,52
39,6 „ „	1,47
36,8 „ „	1,44
34,4 „ „	1,42
32,4 „ „	1,39
29,4 „ „	1,36
26,3 „ „	1,33
23,4 „ „	1,28
19,5 „ „	1,23
16,2 „ „	1,19

Name der Körper	Dichte
Kalilauge nach Dalton	
mit 13,0 Theilen Kali	1,15
9,5 = =	1,11
4,7 = =	1,06
Kali, schwefelsaures	2,636
= salzsaures	1,8365
= salpetersaures	1,98
= kohlensaures	1,4594
= saures, weinsteinsaures	1,900
Kalium bei 0° C.	0,8651
Kalk, gebrannter	2,3
= =	3,179
= ätzender	1,842
= kieselsaurer	2,76 / 2,90
= kohlensaurer	2,456 / 2,720
= = Krystall.	2,717
= phosphorsaurer	3,180
= salpetersaurer (Hassenfratz)	1,621
= salzsaurer =	1,760
= schwefelsaurer (Beudant)	2,3316
Kalkspath (Beudant)	2,723
= =	2,698
= eisenhaltig	2,778
= gelblichgrün	2,727
= halbdurchsichtig	2,731
= rhomb. von Dauphiné	2,508
= weiß, magnesiahaltig	2,647
Kalkstein (rhomb. Kalkhaloid) (Mohs)	2,721
= blättrig	2,710 / 2,837
= fest	1,386 / 2,720
= sandig	2,742
Kiese (Mohs)	4,1 / 7,7
Arsenikkies (Mohs)	5,7 / 7,4
Eisenkies =	4,4 / 5,05
Kobaltkies =	6,1 / 6,6
Kupferkies =	4,1 / 5,1
Nickelkies =	7,5 / 7,7
Kieselerde	2,743
Kleber (Brisson)	1,482

Name der Körper	Dichte
Knochen (Ochsen-)	1,656
Kobalt, metallisch (Bergmann)	7,512
= gegossen	7,811
= =	8,71
Kochsalz (hex. Steinsalz) (Mohs)	2,257
=	2,12
Kohlen, natürliche (Mohs)	1,2 / 1,5
= aus Ebenholz mit Poren (Griffith)	0,93
= aus Ebenholz ohne Poren (Griffith)	1,36
= aus Eichenholz	0,573
= = Kork	0,100
= = Pappelholz	0,12372 / 0,18743
= = Steinkohlen destilirt (Herapath)	1,865
= aus Tannenholz	0,600
Kohlenwasserstoff, Gemenge, wie es sich aus comprimirtem Oelgas abgesetzt (Faraday)	0,821
Korallen, rohe (Muschenbroek)	2,6889
Krebsaugen	1,890
Kreide	2,252 / 2,797 / 2,657
Kuhmilch	1,019
Kupfer (octaedr.) gediegen (Hauy)	8,5844
= gegossen	7,788
= =	8,667
= gehämmert	8,878
= =	8,9
= gehämmert *)	8,8893
Kupferdraht *), ungeglüht	8,6225
= geglüht	8,3912
= ungeglüht gewalzt	8,7059
= geglüht gewalzt	8,8787
Kupfer, geschmolzen und schnell abgekühlt (Herapath)	8,900
= von Sibirien	8,508
= = Ungarn	7,728
Kupfer, schwefelsaures	2,194
Kupfererz, rothes	5,30
Kupfermanganerz (Breithaupt)	3,197 / 3,216
Kupferoxyd (Herapath)	6,093

*) Baudrimont, Ann. de chim. et de phys. T. LX. p. 78. — Dingler's polytech. Journ. Bd. LIX. S. 273.

Name der Körper	Dichte
Kupferoxyd (Herapath) . . .	6,43
Kupferoxydul „	6,052
„ „	5,75
Kupfervitriol aus Böhmen . .	6,607
„ „ Sachsen . .	6,648
Labradorstein (Haidinger) . .	2,670 2,692
Lava	2,795 2,823
Leucit (Mohs und Haidinger) .	2,483
„	2,500
Magneteisenstein (octaed. Eisenerz) (Mohs)	4,8 5,2
„	5,095
Magnetkies (rhomb. Eisenkies)	4,4 4,7
Magnesia (Kirwan) . . .	2,300
Mangan (Bachmann) . . .	8,0301 8,013
Manganoxyd	4,328
Marmor, afrikanischer . . .	2,798
„ von Biscaya . .	2,695
„ aus Castilien . .	2,700
„ dunkler	2,695
„ carrarischer . . .	2,717
„ ägyptischer, grün .	2,668
„ florentinischer, gelb	2,516
„ von Granada, weiß	2,705
„ norwegischer . . .	2,728
„ parischer	2,838
„ pyrenäischer . . .	2,726
„ römischer, schwarz .	2,717
„ „ violet .	2,755
„ schweizer	2,714
„ sibirischer . . .	2,728
„ von Valencia . .	2,710
Messing, gehämmert*) . . .	8,5079
Messingdraht, geglüht*) . .	8,3758
„ ungeglüht gewalzt*)	8,4931
„ geglüht gewalzt*)	8,4719
„ gezogen*) . .	8,4281
Meerschaum (Klaproth) . .	1,600
Myrthenwachs	1,015
Naphta, ameisensaures . . .	0,9151
Naphtalin	1,048
Natrium bei 10° C. (Davy) .	0,9348
„	0,972
Natron, kohlensaures, krystallisirtes	1,738
„ phosphorsaures (Hassenfratz)	1,333

Name der Körper	Dichte
Natron, salpetersaures (Klaproth)	2,0964
„ schwefelsaures . . .	1,446
„ anderthalb schwefelsaures (Thomson) . . .	2,26
Nickel, reinste Sorte . . .	7,000 9,000
Nickelspießglanzerz	6,451
Oele:	
„ Anisöl bei 25° . . .	0,9857
„ Bergamottöl	0,8856
„ Buchecker	0,9230
„ Calmus	0,8990
„ Camillen	0,8943
„ Cascarille	0,9380
„ Citronen	0,8517
„ Erd	0,8800
„ Fenchel	0,9294
„ Fuselöl aus Getreide .	0,821
„ „ mit Wasser . .	0,8233
„ Gewürznelken	1,036
„ flüchtiges aus Hanf . .	0,926
„ aus Haselnüssen . . .	0,916
„ Kopaivabalsam . . .	0,9925
„ Krausemünze	0,9696
„ Kümmel (Brandes) . .	0,975
„ Lavendel	0,9480
„ Leinsamen	0,928 0,9530
„ „ bei 12° (Saussure)	0,9395
„ „ bei 25° „	0,93
„ „ bei 50° „	0,9125
„ „ bei 94° „	0,8815
„ Löffelkraut . . .	0,943
„ Mais	0,9538
„ Mandeln	0,9178 0,92
„ Mohn bei 15° (Saussure)	0,9249
„ Mohn	0,929
„ Muskatnuß	0,948
„ Nelken	1,0340
„ Oliven	0,915
„ Petersilie (Brandes) . .	1,1650
„ Pfeffermünze	0,9550
„ Raps	0,9193
„ Ricinus bei 12° (Saussure)	0,9699
„ „ bei 25° „	0,9575
„ „ bei 94° „	0,9081
„ Rosen bei 32° . . .	0,8320
„ Rosmarin (Brandes) .	0,915
„ Rüböl bei 15° (Saussure)	0,9128

*) Baudrimont, Ann. de chim. et de phys. T. LX. p. 78.

Name der Körper	Dichte	Name der Körper	Dichte
Oel, Sassafras bei 6°	1,245	Porzellan, chinesisches	2,384
„ „ „ 12°	1,110	„ französisches	2,145
„ Senf, flüchtig	1,0387	„ sächsisches (Meißner)	2,493
„ Tausendgüldenkrautbl.	0,852	„ Wiener, feinstes	2,209
„ Terpentin (Brandes)	0,8725		2,387
„ Thymian	0,905	Porphyr, grün	2,676
„ Valeriana	0,9650	„ von Cordova	2,7278
„ Wachholder	0,911	„ roth	2,765
	0,858	Probirstein	2,415
„ Wallnuß	0,928	Quarz (Rhomboeder) (Hai-	2,640
„ „ bei 12° (Saussure)	0,9283	dinger)	2,670
„ „ „ 25° „	0,9194	„ (Beudant)	2,690
„ „ „ 94° „	0,871		2,654
„ Weinöl bei 10° (Dumas)	0,9174	Quecksilber bei 0° C. (Biot u.	
„ Wermuth	0,9725	Arago)	13,588
„ Wurmkraut (Brandes)	0,9315	Quecksilber bei 0° C. bezogen	
„ Ysop	0,8892	auf Wasser von 4° C.	13,596
„ Zimmt	1,035	Quecksilber-Präcipitat, roth	8,399
Opal (untheilb. Quarz) (Hai-	1,700	Quecksilberhornerz	6,4
dinger)	2,118		6,5
Opal	2,06	Quecksilberoxyd (Herapath)	11,085
Opium	1,3365	„	11,290
Osmium, ungefähr (Berzelius)	10,000	„ oxydul	10,690
Packfong zu Blech gewalzt	8,563	„ „	10,074
„ zu Draht gezogen	8,553	„ sublimat	5,139
Palladium (Dumas)	11,682		5,42
„ gegossen (Berzelius)	11,3	Raseneisenstein (Karsten)	2,603
„ gehämmert	12,148	Rauschgelb (prismatoid. Schwe-	
Pech, weißes	1,072	fel) (Mohs)	3,480
Pechkohle	1,29	Rauschgelb, rothes (Mohs)	3,556
	1,350	Reißblei	1,987
Pechstein (empyrodor. Quarz)			2,089
(Mohs)	2,212	Rhodium	11,000
Perlen, orientalische	2,684	Rotheisenstein (rhomb. Eisenerz)	
„ gemeine	2,750	(Mohs)	5,251
Phosphor	1,770	Rothgiltigerz (rhombd. Rubin-	
	1,821	blende) (Mohs)	5,846
Platin, gediegen (Mohs)	17,332	Rothkupfererz (octaed. Kupfer-	
„ in Naturkörnern	15,600	erz) (Mohs)	5,992
	17,200	Rubin, brasilianischer	3,130
„ gemünzt	21,012	„ orientalischer	3,991
	22,100	Säuren:	
„ geschmolzen	20,857		
„ gehämmert	21,25	Aethersäure	1,0150
„ gewalzt	22,069	Ameisensäure, concentrirteste	1,117
„ Draht	19,267	„ mit gleichen Thei-	
„ „	21,4	len Wasser	1,030
	21,5	Arseniksäure	1,8731
Platinschwamm (im Mittel)		„ verglaset	3,391
(Liebig)	16,557	Arsenige Säure (Herapath).	3,729
Polirschiefer	0,590	Benzoesäure	0,667
	0,606	Blausäure (2° R.)	0,205
Porzellan:		„ wasserfreie bei 7° C.	
Porzellan, Berliner	2,293	(Gay-Lussac)	0,7058

Name der Körper	Dichte
Blausäure, wässerige, nach Ure	
Procent Säure 16,0	0,9570
" " 10,6	0,9768
" " 9,1	0,9815
" " 8,0	0,9840
" " 7,3	0,9870
" " 6,4	0,9890
" " 5,8	0,9900
" " 5,3	0,9914
" " 5,0	0,9923
" " 4,6	0,9930
" " 4,0	0,9940
" " 3,6	0,9945
" " 3,2	0,9952
" " 3,0	0,9958
" " 2,7	0,9964
" " 2,5	0,9967
" " 2,3	0,9970
" " 2,1	0,9973
" " 2,0	0,9974
" " 1,7	0,9978
" " 1,6	0,9979
Boraxsäure	1,495
" krystallisirt . . .	1,480
" verglaset . . .	1,803
Buttersäure bei 25° (Chevreul)	0,9675
Chinasäure	1,637
Citronensäure, krystallisirt . .	1,617
Cyansäure (Serullas) . . .	1,7 1,8
Essigsäure, concentrirteste . .	1,063
" Wassergehalt 8,3	1,0742
" " 17	1,0770
" " 23	1,0791
" " 28,1	1,0763
" " 33,3	1,0742
" " 37,6	1,0728
" " 47	1,0658
" " 50	1,0637
" " 51,8	1,0630
Flußsäure, concentrirteste . .	1,0609
" mit möglichst viel Wasser	1,250
Hydrojodsäure, concentrirt (Gay-Lussac)	1,700
Hydrojodsäure, bei 7°,2 tropfbar (Faraday) . . .	0,9
Kleesäure	1,507
Kampfersäure (Hassenfratz) . .	0,770
Molybdänsäure	3,460
Oelsäure 18°	0,898
Phosphorsäure, wasserfreie .	2,687
" wässerige . .	2,000

Name der Körper		Dichte
Salpetersäure möglichst concentrirt		1,580
Th. Salpeters.	Th. Wasser	
1	99	1,0053
2	98	1,0106
3	97	1,0159
4	96	1,0212
5	95	1,0267
6	94	1,0320
7	93	1,0375
8	92	1,0430
9	91	1,0485
10	90	1,0540
11	89	1,0595
12	88	1,0651
13	87	1,0708
14	86	1,0764
15	85	1,0821
16	84	1,0878
17	83	1,0935
18	82	1,0993
19	81	1,1051
20	80	1,1109
21	79	1,1168
22	78	1,1227
23	77	1,1286
24	76	1,1343
25	75	1,1403
26	74	1,1465
27	73	1,1525
28	72	1,1587
29	71	1,1648
30	70	1,1709
31	69	1,1770
32	68	1,1833
33	67	1,1895
34	66	1,1958
35	65	1,2019
36	64	1,2084
37	63	1,2148
38	62	1,2212
39	61	1,2277
40	60	1,2341
41	59	1,2402
42	58	1,2462
43	57	1,2523
44	56	1,2583
45	55	1,2644
46	54	1,2705
47	53	1,2765
48	52	1,2826
49	51	1,2887
50	50	1,2947
51	49	1,3001

Name der Körper		Dichte
Th. Salpeters.	Th. Wasser	
52	48	1,3056
53	47	1,3110
54	46	1,3163
55	45	1,3216
56	44	1,3270
57	43	1,3323
58	42	1,3376
59	41	1,3427
60	40	1,3477
61	39	1,3529
62	38	1,3579
63	37	1,3630
64	36	1,3681
65	35	1,3732
66	34	1,3783
67	33	1,3833
68	32	1,3882
69	31	1,3945
70	30	1,3978
71	29	1,4023
72	28	1,4065
73	27	1,4107
74	26	1,4147
75	25	1,4189
76	24	1,4228
77	23	1,4269
78	22	1,4306
79	21	1,4346
80	20	1,4385
81	19	1,4425
82	18	1,4460
83	17	1,4500
84	16	1,4530
85	15	1,4570
86	14	1,4600
87	13	1,4640
88	12	1,4670
89	11	1,4700
90	10	1,4730
91	9	1,4760
92	8	1,4790
93	7	1,4820
94	6	1,4850
95	5	1,4880
96	4	1,4910
97	3	1,4940
98	2	1,4960
99	1	1,4980
100	0	1,5000
Salzsäure		1,194
Th. Salzsäure	Th. Wasser	
1	99	1,0020
2	98	1,0040

Name der Körper		Dichte
Th. Salzsäure	Th. Wasser	
3	97	1,0060
4	96	1,0080
5	95	1,0100
6	94	1,0120
7	93	1,0140
8	92	1,0160
9	91	1,0180
10	90	1,0200
11	89	1,0220
12	88	1,0239
13	87	1,0259
14	86	1,0279
15	85	1,0298
16	84	1,0318
17	83	1,0337
18	82	1,0357
19	81	1,0377
20	80	1,0397
21	79	1,0417
22	78	1,0437
23	77	1,0457
24	76	1,0477
25	75	1,0497
26	74	1,0517
27	73	1,0537
28	72	1,0557
29	71	1,0577
30	70	1,0597
31	69	1,0617
32	68	1,0637
33	67	1,0637
34	66	1,0677
35	65	1,0697
36	64	1,0718
37	63	1,0738
38	62	1,0758
39	61	1,0778
40	60	1,0798
41	59	1,0818
42	58	1,0838
43	57	1,0859
44	56	1,0879
45	55	1,0899
46	54	1,0919
47	53	1,0939
48	52	1,0960
49	51	1,0980
50	50	1,1000
51	49	1,1020
52	48	1,1041
53	47	1,1061
54	46	1,1082
55	45	1,1102

Name der Körper		Dichte
Th. Salzsäure	Th. Wasser	
56	44	1,1123
57	43	1,1143
58	42	1,1164
59	41	1,1185
60	40	1,1206
61	39	1,1226
62	38	1,1247
63	37	1,1267
64	36	1,1287
65	35	1,1308
66	34	1,1328
67	33	1,1349
68	32	1,1369
69	31	1,1389
70	30	1,1410
71	29	1,1431
72	28	1,1452
73	27	1,1473
74	26	1,1494
75	25	1,1515
76	24	1,1536
77	23	1,1557
78	22	1,1578
79	21	1,1599
80	20	1,1620
81	19	1,1641
82	18	1,1661
83	17	1,1681
84	16	1,1701
85	15	1,1721
86	14	1,1741
87	13	1,1762
88	12	1,1782
89	11	1,1802
90	10	1,1822
91	9	1,1846
92	8	1,1857
93	7	1,1875
94	6	1,1893
95	5	1,1910
96	4	1,1928
97	3	1,1946
98	2	1,1964
99	1	1,1982
100	0	1,2000
Schwefelsäure, möglichst concentrirt		2,125
Schwefelsäure, wie sie im Handel als Vitriolöl vorkommt		1,860
Schwefelsäure, englische . .		1,848
Schwefelige, tropfbar (Bussy) .		1,45

Name der Körper		Dichte
Verdünnte Schwefelsäure nach Dalton		
trockene Säure	81 Proc.	1,850
	80	1,849
	79	1,848
	78	1,847
	77	1,845
	76	1,842
	75	1,838
	74	1,833
	73	1,827
	72	1,819
	71	1,810
	70	1,801
	69	1,791
	68	1,780
	67	1,769
	66	1,757
	65	1,744
	64	1,730
	63	1,715
	62	1,699
	61	1,684
	60	1,670
	58,6	1,650
	50	1,520
	40	1,408
	30	1,300
	20	1,200
	10	1,100
Verdünnte Schwefelsäure nach Delezenne		
Säure bei 15° C.	0 Proc.	0,998635
	5	1,028375
	10	1,065856
	15	1,099755
	20	1,137816
	25	1,176687
	30	1,215421
	35	1,256211
	40	1,297562
	45	1,340860
	50	1,386607
	55	1,434725
	60	1,486006
	65	1,540191
	70	1,594626
	75	1,653449
	80	1,709026
	85	1,760161
	90	1,804971
	95	1,831763
	100	1,840536

Name der Körper	Dichte
Säure bei 25° C. 0 Proc.	0,995478
2,5	1,011532
5	1,027204
10	1,060449
20	1,131126
30	1,207842
40	1,286807
50	1,377973
60	1,476711
70	1,586291
80	1,699380
90	1,793986
100	1,828646
Unterschwefelsäure	1,347
Schwefelblausäure	1,0203
Schwefelnaphtalinsäure, feste (Faraday)	1,3 1,4
Tantalsäure (Eckeberg) . . .	6,500
Weinsteinsäure	1,730
Wolframsäure (Herapath) . .	5,274
Salmiak, natürlicher . . .	1,528
Saphir (rhomb. Corund) roth (Mohs)	3,909
„ blau	3,979
„ orientalischer . . .	4,29
„ „	4,83
„ brasilianischer . . .	3,130
Sauerkleesäure	1,507
Schießpulver, gehäuft . . .	0,836
„ geschüttelt . .	0,932
„ gestampft . .	1,745
Schörl	2,920 3,212
Schrifterz (Reichenstein) . .	5,723
Schrifttellur	5,723
„	5,800
Schwarzeisenstein, untheilbares Manganerz (Mohs)	4,0 4,2
Schwarzkohle, harzige Steinkohle (Mohs)	1,271
Schwarzbleierz	5,7
Schwarzgiltigerz	5,9
„	6,269
Schwefel, natürlicher (Mohs) .	1,9 3,6
prismat. . . .	2,072
gediegen	2,033
dickflüssig . . .	2,325
Schwefelantimon ($1^1/_2$) . .	4,600
Schwefelarsenik, roth . . .	3,600
„ gelb . . .	3,480
Schwefelblei	7,585
Schwefelblumen	2,086
Schwefelchlorid	1,600

Name der Körper	Dichte
Schwefelkalilösung (Guiburt)	
$^1/_2$ Th. Schwefelkali $^1/_2$ Wasser	1,369
$^1/_3$ $^2/_3$	1,227
$^1/_4$ $^3/_4$	1,167
$^1/_5$ $^4/_5$	1,129
$^1/_6$ $^5/_6$	1,109
$^1/_7$ $^6/_7$	1,093
$^1/_8$ $^7/_8$	1,081
$^1/_9$ $^8/_9$	1,071
Schwefelkadmium	4,605
Schwefelkies (heraed.) (Mohs)	4,9 5,05
Schwefelmolybdän	4,138 4,569
Schwefelnatronlösung (Guiburt)	
$^1/_2$ Th. Schwefelnatron $^1/_2$ Wass.	1,412
$^1/_3$ $^2/_3$	1,270
$^1/_4$ $^3/_4$	1,190
$^1/_5$ $^4/_5$	1,151
$^1/_6$ $^5/_6$	1,125
$^1/_7$ $^6/_7$	1,106
$^1/_8$ $^7/_8$	1,093
$^1/_9$ $^8/_9$	1,083
$^1/_{10}$ $^9/_{10}$	1,073
Schwefelsilber	6,900
Schwefelwismuth	7,591
„	6,5
Schwefelzink	3,92
Schwefelzinn	4,85
Schwefelsaures Bleioxyd . .	6,169
„ Silberoxyd . .	5,341
„ Baryt . . .	4,200
„ Strontian . .	3,588
Kali . . .	2,623
Kalk . . .	2,927
„ Thonerde . .	2,44
Schwerspath, blaßgelb vom Harz (Haidinger) . .	4,426
„ bläulichweiß von Kremnitz (derselbe)	4,412
„ schmalteblau von Siebenbürgen (ders.)	4,473
„ weiß, durchsichtig	4,480
„ krystallisirt von Freiberg (Mohs) .	4,446
Sedativsalz	1,479
Seignettesalz	1,757
Selen	4,300 4,320
Selenblei bei 10°,5	7,697
Selensilber	8,0
Serpentin (Mohs)	2,684
„ (Haidinger . . .	2,507

Name der Körper	Dichte
Silber (hexaed.) gediegen . .	10,4723
„ in Blättchen krystallisirt (Baudrimont) . . .	9,5538
„ gegossen	10,474
„ „ (Rose) . .	10,503
„ gehämmert	10,511
„ „ } Baudrimont	10,4476
„ gewalzt } Baudrimont	10,5513
„ Sterling oder englisches Probesilber	10,200
„ nach dem französischen Münzfuße vom Jahre 1780 gegossen . . .	10,047
„ dasselbe gemünzt . . .	10,048
„ „ „ (Rose)	10,5665
„ in Kronthalern . . .	10,106
	10,227
„ in Speciesthalern . .	10,196
	10,227
„ in Zwanzigern . . .	9,217
	10,106
Silberglanz	6,85
„	7,200
Silberhornerz	4,74
„	5,55
Silberjodid	5,614
Silberoxyd (Herapath) . . .	7,143
„	8,255
Silberkupferglanz	6,255
Silberamalgam 36 S. 64 Q.	14,000
Silberantimon 24 S. 76 A. .	9,600
Silbersulphurid	6,900
Smaragd	2,678
	2,775
Sodaalaun	1,600
Soole von Kochsalz bei 15° R.	
mit 0,71 Proc. Salz	1,005
1,42	1,010
2,11	1,015
2,82	1,020
3,52	1,025
4,21	1,030
4,91	1,035
5,60	1,040
6,28	1,045
6,97	1,050
7,65	1,055
8,33	1,060
9,00	1,065
9,68	1,070
10,53	1,075
11,02	1,080
11,73	1,085
12,35	1,090
mit 13,01 Proc. Salz	1,095
13,67	1,100
14,33	1,105
15,00	1,110
15,64	1,115
16,29	1,120
16,94	1,125
17,59	1,130
18,23	1,135
18,87	1,140
19,52	1,145
20,15	1,150
20,79	1,155
21,43	1,160
22,06	1,165
22,69	1,170
23,32	1,175
23,94	1,180
24,57	1,185
25,19	1,190
25,82	1,195
26,44	1,200
27,50	1,205
Spathe (Mohs)	2,0
	3,7
Schillerspath	2,6
	3,4
Disthenspath (derselbe) . . .	3,5
	3,7
Feldspath „	2,5
	2,8
Augitspath „	2,7
	3,5
Lazurspath „	2,9
	3,0
Spatheisenstein „	3,829
„	3,7
Speck (Brisson)	0,948
Speckstein (Breithaupt) . .	2,604
Speiskobalt (octaed. Kobaltkies) (Mohs)	6,4
	6,6
Spiesglanz, regul.	6,640
	6,624
Spiesglanzsilber (prism. Antimon) (Hauy)	9,820
	9,4406
Spiesglanzzinn 1 Spsz. 1 Z.	6,803
„ 1 „ 3 „	7,059
Stärkemehl	1,530
Stärkezucker durch Schwefelsäure	1,391
„ „ Diastas . .	1,386
Stahl, gehämmert	7,840
„ gehärtet in Wasser . .	7,816

Name der Körper	Dichte	Name der Körper	Dichte
Stahl, gehämmert und gehärtet in Wasser	7,818	Turmalin (rhomb.), grün (Mohs)	3,076
" weicher	7,833	"	3,30
" (Guß-)	7,919	Türkis	2,86 3,00
Stangenkohle (harzlose Steinkohle) (Mohs)	1,400	Umbra	2,206
Stangenkohle	1,482	Uran	8,1
Stearopten von Anisöl bei 12°	1,014	Urin von Menschen (Brisson)	1,015
" " " " 25°	0,9849	Versteinertes Holz	2,045 2,675
" " " " 50°	0,9669		
Steinkohle	1,232 1,310	Vesuvian (pyram. Granat)	3,3 3,4
Storax	1,1098	Vitriolsalz (Mohs)	1,8 2,3
Strahlerz	4,192		
Strahlkies (prism. Eisenkies)	4,678 4,847	Vitriol, natürl. Eisenvitriol (Mohs)	1,832
Strontian	3,4	" englischer	1,839 1,880
"	3,958		
" kohlensaurer	3,605	Kupfervitriol (Hoffmann)	2,194 2,230
" "	3,8		
" schwefelsaurer	3,5 3,90	Zinkvitriol, natürl. (Mohs)	2,036
		Wachs, gelbes (Brisson)	0,965
Strontium	4,0 5,0	" weißes "	0,969
Süßerde	2,967	Wacke	2,622 2,983
Tafelspath (prism. Augitspath) (Mohs)	2,805	Walkererde	1,82
		"	2,198
Talg	0,942	Wallfischtheer	0,923
Talkhydrat (Cleveland)	2,350	Wallrath	0,943
Tellur, gediegen (Wagnus)	6,138	Wallroßzahn	1,933
"	6,258	Wasser, rein destillirt	1,000
Terpentin, flüssig	0,991	Regenwasser bei 14° R. von der größten Dichte	1,0001 1,0013
Thonerde	3,9 4,15	Wasser von Aachener Schwefelquellen	1,004
" (Rose)	3,87 3,899	" von Burgscheider Schwefelquellen	1,004
" im Porzellanofen geglüht, nach Rose	3,999	" ungeschwefelt	1,003
Thonerde, nach heftigem Glühen bei 4° im luftleeren Raum (nach Royer und Dumas)	4,152	" von Spaa, Pouhonquelle bei 8° R.	1,001
		" Geronsterquelle bei 7°,5 R.	1,0008
Thonschiefer	2,76 2,880	" Mineral von Baden bei 13°—14° R.	1,004
		" Mineral von Barèges	1,00037
Thorerde (Berzelius)	9,402	" vom Eger Franzensbrunnen, von Eisen befreit bei 18°	1,00539
Titan (Wollaston)	5,300		
"	5,28		
Titaneisen (axotom. Eisenerz) (Mohs)	4,4 4,8	" Forges bei 18° (Brisson)	1,00012
		" Gastein	1,0002
Titanoxyd	3,820	" Karlsbadersprudel (Berzelius)	1,004975
"	4,24		
Topas (prismat.) durchsichtig (Mohs)	3,499	" Liebwerdaer (Reuß) Christiansquelle bei 8° R.	1,0009
"	3,560	" Josephinenquelle	1,0018

Name der Körper	Dichte
Wasser, Liebwerdaer Stahlbrunnen	1,0027
= Wilhelmsbrunnen . .	1,0018
= Marienbad, Ferdinandsq. bei 8° R. (Striemann)	1,004627
= Plombières	1,00012
= Pyrmonter	1,0024
= Recoaro (im Venet.) bei 17°,5 R. . . .	1,00438
= Ronneby (Berzelius) .	1,00255
= Saidschützer Bitterwasser	1,01761
= Selzer	1,0027
= Sulzer Salzbrunnen, 10° R.	1,0400
= Sales in Pyrmont . .	1,0502
Wasser vom Meere: in einer geograph.	
Breite Länge	
30°6′ S. 17°42′ O. (J. Davy)	1,02667
26°55′ 7°34′	1,02671
6°0′ N. 19°17′ W.	1,02667
9°5′ 25°8′	1,02671
12°6′ 28°28′	1,02671
15°36′ 32°38′	1,02672
18°15′ 34°6′	1,02672
20°35′ 35°49′	1,02823
23°27′ 37°8′	1,02823
28°1′ 37°57′	1,02762
31°8′ 38°27′	1,02823
34°8′ 37°57′	1,02742
42°10′ 30°36′	1,02721
44°51′ 26°37′	1,02721
47°5′ 14°12′	1,02721
49°3′ 8°1′	1,02648
Wasser vom todten Meere . .	1,245
= = = = (Gmelin)	1,21223
Wasserblei (rhomb. Molybdänglanz) (Mohs) . . .	4,591
Wasserglas (Fuchs)	1,25
Weihrauch	1,173
=	1,221
Wein: Bordeaux (Brisson) .	0,994
= Burgunder, rother (Brisson)	0,993
= Burgunder, weißer . .	0,988
= Cap, roth	1,018
= = weiß	1,039
= Champagner (Brisson)	0,998
= Constanzer =	1,082
= Madeira =	1,038
= Malaga =	1,022
= Mosel	0,916
= Oesterreicher . . .	1,000

Name der Körper	Dichte
Wein: Porto	0,993
= Rhein	0,999
= Tokayer (Brisson) . .	1,054
= Xeres = . .	0,992
Weinreben	1,327
Weinstein	1,849
= roh	1,900
Weinsteinrahm	1,900
=	1,953
Weinsteinsäure	1,596 1,75
Weizen	1,346
Wetzschiefer (Kirwan) . . .	2,722
Wismuth (octaed.) gediegen	9,737
(Herapath)	9,312
Wismuth, gegossen	9,756 9,822
= geschwefelt (Herapath)	6,467 7,591
= natürlicher	9,020 9,570
Wismuthblei 1 W. 1 B. (Muschenbroek)	10,710
Wismuthblende	5,912 6,006
Wismuthglanz (prism.) (Muschenbroek)	6,549
Wismuthocker (Brisson) . .	4,361
Wismuthoxyd	8,173 8,449
Wismuthzinn 41 Th. W. 59 Z.	8,345
= 1 Th. W. 3 Z.	7,776
Wolfram, metall. (Allan) . .	17,220
= = (Buchholz) .	17,400
Wolframoxyd	12,11
Wolframsäure	7,139 6,120
Yttererde (Ekeberg) . . .	4,842
= phosphorsaure 16° C. (Berzelius)	4,5577
= schwefelsaure, krystallis. (Ekeberg)	2,79
Zeichenschiefer (Kirwan) . .	2,114
= (Bergmann) . .	2,186
Zink, geschmolzen (Brisson) .	6,861
= zusammengepreßt (Brisson)	7,191
= gegossen	7,190
= = ...	6,891
= gehämmert	7,19 7,21
Zinkoxyd (prismat. Zinkerz) (Mohs)	5,432
=	5,6
= schwefelsaures . . .	1,327

Name der Körper	Dichte	Name der Körper	Dichte
Zinkoxyd, salpeters. (Hassenfratz)	2,096	Zinnblei 2 Th. Z. 7 Th. B.	10,0734
" salzsaures (Hassenfratz)	1,577	1 4	10,1832
Zinkblüthe	3,35	3 2	8,4973
Zinkenit	5,303	2 1	8,2669
Zinkspath	3,6	5 2	8,1094
	4,441	3 1	7,9942
Zinkvitriol	1,912	Zinnoxydul (Herapath) . . .	6,666
	2,036	Zinnoxyd	5,734
Zinn, möglichst rein (Kupffer)	7,2912	Zinnperchlorid	2,230
" aus Böhmen, gegossen	7,312	Zinnpresulphurid (Bussy) . .	5,267
" " England (Brisson)	7,291	Zinnbisulphurid " . .	4,415
" " China, Japan, Ost-		Zinnkies	4,350
indien (Brisson) . . .	7,296	"	4,78
" gehämmert	7,299	Zinnober (peritom. Rubin-	
	7,306	blende)	8,098
	7,475	" dunkelroth	7,786
Zinnamalgam (Kupffer)		" krystallisirt	10,218
1 Th. Z. 2 Th. Quecksilber	11,3816	Zinnstein (pyramid. Zinnerz)	
1 1	10,3447	krystallisirt	6,960
2 1	9,3185	Zircon (pyramid.) (Haidinger)	4,416
3 1	8,8218	"	4,505
Zinnblei 1 Th. Z. 1 Th. B.	8,8640	Zirconerde	4,300
2 3	9,2653	Zölestin (prismatoid. Halbaryt)	
1 2	9,5535	weiß durchscheinend	
2 5	9,7701	(Mohs)	3,858
1 3	9,9387	Zucker, weiß	1,6065

Diese Tabelle ist (Baumgartner's Naturlehre, Supplementband S. 879 ff.) mit Hinzufügung neuerer Bestimmungen größtentheils von O. Marbach zusammengestellt.

Dichtigkeitsmesser, s. Manometer.

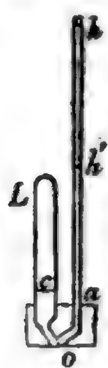
Didymium (Didym, von dem griechischen Worte *δίδυμος*, dessen Plural *δίδυμοι* Zwillinge bedeutet, weil es in Verbindung mit dem Lanthanoxyde im Jahre 1840 von Mosander entdeckt wurde) Di = 49,3 *). Das Didym kommt in geringer Menge in dem Cerit neben Cer und Lanthan vor (s. diese Art.); es ist das Didymoxyd, welches den Lanthansalzen, so wie den Cersalzen, die diesen Salzen beigelegte Amethystfarbe giebt und welches den Oxyden derselben Metalle beim Erhitzen bis zum Rothglühen bei Luftzutritt die braune Farbe ertheilt. Das Didymoxyd scheint in seiner völligen Reinheit noch nicht dargestellt worden zu sein; dasselbe ist auch bei den Salzen desselben der Fall, nur mit Schwefelsäure kann durch verschiedene Mittel eine constante Verbindung gebildet werden (s. unten). Aus einer Auflösung eines Didymsalzes fällt Didymoxydhydrat nach Zusatz von Kalihydrat im Ueberschuß nieder; es hat eine bläulich-violette Farbe, absorbirt beim Waschen aus der Luft Kohlensäure und der Rückstand ist nach dem Trocknen hellröthlich-violett; bei der Rothglühhitze wird Wasser

*) Journ. f. pr. Chem. Bd. XLVIII. S. 406. und Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. LXXI. S. 306. Poggend. Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. LVI. S. 503. Ferner The Lond., Edinb. and Dubl. phil. Mag. Octobr. 1843 p. 241 und daraus im Journ. für prakt. Chem. Bd. XXX. S. 284—288.

und Kohlensäure aus dieser Masse leicht ausgetrieben und das auf diese Weise gebildete Oxyd stellt sich in kleinen Klumpen dar, welche auf der Oberfläche dunkelbraun, zuweilen im Bruche hellbraun sind, einen harzigen Glanz besitzen, zuweilen fast schwarz sind, mit der Farbe und dem Aussehen von dunklem Orthit; zugleich werden andere Theilchen erhalten von den verschiedensten Nüancen vom Hellrothbraun bis zur fast schwarzen Farbe; das Pulver ist hellbraun. Wird dieses Oxyd bis zum Weißglühen erhitzt, so nimmt es eine schmutzig-weiße Farbe an, die sich dem Graugrünen nähert. Didymoxyd ist eine schwächere Basis als Lanthanoxyd; es hat keine alkalische Reaction und scheint nach dem Erhitzen kein Wasser zu absorbiren, es löst sich jedoch ziemlich leicht selbst in verdünnten Säuren auf, das braune Oxyd unter Gasentwickelung; es ist unlöslich in kohlensaurem Ammoniak. Die Didymoxydsalze sind amethystroth, ebenso wie die Lösungen derselben, welche mit Schwefelwasserstoff-Ammoniak keinen Niederschlag geben, wofern nicht eine große Menge zugesetzt oder die Flüssigkeit erhitzt wird, worauf sich Schwefelwasserstoffgas entwickelt und ein basisches Salz, das einen Stich ins Rothe hat, niederfällt und ohne durch das Filter zu gehen ausgewaschen werden kann. Wird das Oxyd in Phosphorsalz vor dem Löthrohr aufgelöst, so wird die Perle amethystfarbig mit einer starken Neigung zum Violetten, gerade wie bei einer Spur von Titansäure nach der Reduction; das Oxyd, auf einem Platinbleche mit kohlensaurem Natron erhitzt, schmilzt zu einer grauweißen Masse. Das schwefelsaure Didymoxyd erhält man aus dem Cerit durch Operationen, welche man in den Art. Cer und Lanthan näher beschrieben findet; die Trennung vom schwefelsauren Lanthanoxyd beruht auf der leichteren Löslichkeit des schwefelsauren Didymoxyds in Wasser und auf der Eigenschaft des schwefelsauren Lanthanoxyds, bei niedrigerer Temperatur weniger auflöslich zu sein, als bei höherer: die trocknen Salze werden mit sechs Theilen Wasser bei einer Temperatur von höchstens 9° C. behandelt, die erhaltene Auflösung sodann bis zu 40° C. erhitzt, wo alsdann eine Menge von hellamethystfarbigem Lanthansalze sich absetzt, welches bei Wiederholung derselben Behandlung, nach zehn bis funfzehn Operationen farblos und fast rein wird. Die von dem Lanthansalze abgeschiedene amethystfarbige Lösung wird bis zur Trockne abgedampft und das Salz von Wasser befreit, darauf wieder auf die vorher erwähnte Art aufgelöst, aber die Auflösung jetzt bis zu 50° C. erhitzt und, wenn sich kein Salz mehr absetzt, filtrirt. Die jetzt rothe Lösung wird mit gleichen Gewichtstheilen Wasser verdünnt, mit Schwefelsäure angesäuert und an einem warmen Orte abgedampft; es bilden sich dann mehrere Arten von Krystallen, von denen viele einen größeren Umfang haben und zu Boden fallen; wenn blos ein Sechstel der gewöhnlich gelben Flüssigkeit zurückgeblieben ist, so wird sie abgegossen, die auf dem Boden liegende Salzkruste abgeschieden und die gesammelten Krystalle in siedendem Wasser geschüttelt, welches plötzlich abgegossen wird, wenn eine Anzahl von kleinen prismatischen Krystallen sich aufgelöst haben. Die zurückbleibenden großen rothen Krystalle werden wieder in Wasser aufgelöst, abgedampft und scheiden nun ein Gemenge von zweierlei verschiedenen Krystallen aus; die eine Art, welche sich in der Form langer, schmaler rhombischer Prismen zeigt, wird herausgenommen und die zurückbleibenden großen rothen Krystalle mit vielen Flächen, welche dem ein- und eingliedrigen System angehören, bilden das schwefelsaure Didymoxyd. Dieses ist bei gewöhnlicher Temperatur in fünf Theilen Wasser auflöslich; die Auflösung beginnt bei

127,4° F. Krystalle abzusetzen, deren Anzahl zugleich mit der Temperatur zunimmt, so daß die gekochte Auflösung blos einen Theil wasserfreien Salzes auf 50,5 Theile Wasser enthält (vergl. die Eigenschaften des schwefelsauren Lanthanoxydes). Bei einer niedrigen Rothglühhitze entweicht eine nur unbedeutende Menge von Schwefelsäure, aber das Salz verliert, wenn es eine Stunde der Weißglühhitze ausgesetzt wird, zwei Drittel von seiner Säure. Mit schwefelsaurem Kali giebt schwefelsaures Didymoxyd ein amethystfarbiges Doppelsalz, welches in einer gesättigten Lösung von schwefelsaurem Kali ganz unlöslich ist. Salpetersaures Didymoxyd ist leicht löslich in Wasser, krystallisirt aber schwierig; die Auflösung, zu einem dünnen Sirup eingedampft, hat eine schöne rothe Farbe, welche, in einer gewissen Richtung gesehen, dem Blau nahe kommt. Wird das Salz bis zur Trockne an einem warmen Orte abgedampft und bis zum Schmelzen erhitzt, was nicht bewirkt werden kann, ohne daß eine große Menge Salpetersäure sich zersetzt, so erhält man eine rothe Flüssigkeit, welche nach dem Erkalten und Erstarren nicht wie das entsprechende Lanthansalz mit Heftigkeit zu Pulver zerfällt, sondern seine Form behält.

Differentialbarometer ist ein von August *) erfundenes Instrument, die Dichtigkeit der Luft nach der Quecksilbersäule zu messen, welche erforderlich ist, dieselbe in einem eingeschlossenen Raume bis auf einen gewissen Grad zu comprimiren; woraus sich, wenn das Maß der Verdichtung bekannt ist, auch die wirklichen Barometerstände berechnen lassen. Die wesentlichen Bestandtheile des Differentialbarometers sind eine weitere, oben geschlossene Glasröhre L, und eine mit ihr in Verbindung stehende längere, engere und oben offene Glasröhre a h; o ist eine Oeffnung, durch welche Quecksilber in die Röhren gedrückt werden kann. Wird in diesen Apparat bei o Quecksilber eingedrückt, so steigt dieses in beide Röhren, indem es in der Röhre L die Luft bis zu einem gewissen Grade comprimirt, aus der offenen Röhre a h aber dieselbe nur heraustreibt. Daher wird es in der Röhre a h allezeit höher stehen als in der Röhre L, und zwar desto höher, je mehr Widerstand die Luft in L ausübt. Gesetzt bei einem Versuche steige das Quecksilber in der Röhre L bis c, und in der Röhre a h bis h'; bei einem zweiten Versuche aber, wo sich andere Luft in dem Apparate befindet, steige das Quecksilber in a h höher, indem es in L bis c steigt, so wird daraus folgen, daß die zweite Luft dichter als die erste ist und die Differenz zwischen beiden Dichten wird durch die Verlängerung der Quecksilbersäule in a h angegeben sein. Die Berechnung des wirklichen Barometerstandes aus der Beobachtung am Differentialbarometer ist leicht zu verstehen. Zuerst wissen wir, daß bei sonst gleichen Umständen die Dichten umgekehrt wie die Volumina sich verhalten. Da also vor der Zusammendrückung der Luft in L die Luft das ganze Gefäß erfüllte, dessen Volumen = m sei, nach dem Einlassen des Quecksilbers aber dieselbe Masse Luft ein kleineres Volumen, nämlich den über c liegenden Theil von L, welches wir v nennen wollen, einnimmt, so verhält sich (wenn d die Dichte der Luft vor der Compression und d' die Dichte der Luft nach der Compression bezeichnet) $m : v = d' : d$. Die Luft von der Dichte d würde eine Quecksilbersäule tragen, deren Länge den wirklichen Barometerstand



*) Poggend. Ann. Bd. III. S. 329.

angiebt (s. d. Art. Barometer); diesen wollen wir mit x bezeichnen. Ehe nun in unsern Apparat das Quecksilber eingedrückt wurde, trug die in L befindliche Luft nur das Gewicht der durch die offene Röhre a b auf ihr lastenden atmosphärischen Luft von der Dichte d. Nachdem aber das Quecksilber eingedrückt worden ist, hat die Luft in L sowohl den Druck der atmosphärischen Luft, als auch den Druck einer Quecksilbersäule a b auszuhalten, deren Basis a mit dem Spiegel c des Quecksilbers im Gefäße L in derselben Horizontalebene liegt. Ist nun x die Höhe der Quecksilbersäule, deren Gewicht mit dem Druck der atmosphärischen Luft von der Dichte d im Gleichgewichte steht, oder ist x, kurz gesprochen, der Barometerstand, so entspricht der Dichte d' der in L comprimirten Luft, wenn man die Höhe der Quecksilbersäule a b' durch b bezeichnet, eine Quecksilbersäule von der Länge $x + b$. Man hat demnach $d : d' = x : x + b$ und auch, wenn man diese Proportion mit der obigen $m : v = d' : d$ verbindet, $m : v = x + b : x$ oder $m x = v (x + b)$, woraus sich $(m - v) x = v b$ und $x = \frac{v b}{m - v}$ ergiebt.

Mit v war der Theil von L bezeichnet worden, welchen die Luft nach der Compression einnahm, m war der ganze Inhalt von L, nennen wir den Theil von L, welchen das Quecksilber einnimmt, n, so ist $n = m - v$ und $v = m - n$; dies in die Formel gesetzt giebt $x = \frac{(m - n) b}{m - (m - n)} = \left(\frac{m}{n} - 1\right) b$. Man findet also die wirkliche Barometerhöhe (x), wenn man die Länge der Quecksilbersäule, um welche sich das Quecksilber in der Steigeröhre a b über das Niveau des Quecksilbers im anderen Schenkel L erhebt, mit dem um 1 verminderten Quotienten aus dem Inhalte der ganzen Röhre L, und dem Inhalte des von Quecksilber eingenommenen Theiles dieser Röhre multiplicirt.

Man sieht leicht ein, daß, wie sich der Druck der äußeren Luft ändert, also die Größe von x, daß demgemäß auch die Größe von $\left(\frac{m}{n} - 1\right) b$ anders und anders werden muß. Da man aber bei jedem Versuche das Quecksilber durch eine äußerlich angewandte Kraft in den Apparat steigen macht, so kann man dasselbe immer bis zu derselben Höhe c in L sich erheben lassen. Dann bleibt das Verhältniß von m zu n dasselbe, und ebenso bleibt der Factor $\left(\frac{m}{n} - 1\right)$ bei allen Beobachtungen derselbe, so daß die beobachtete Länge von b stets ein bestimmter Theil der wirklichen Barometerhöhe ist. Gesetzt z. B., es werde stets das Quecksilber so weit in die Röhre L eingedrückt, daß es den vierten Theil derselben erfülle, so verhält sich $m : n = 4 : 1$, und es ist $\frac{m}{n} - 1 = 3$; also $x = 3\ b$, d. h. die wirkliche Barometerhöhe ist stets das dreifache derjenigen Quecksilbersäule, um die das Quecksilber in der Steigröhre a b das Niveau des Quecksilbers in L übersteigt.

Wie beim gewöhnlichen Barometer, so ist auch beim Differentialbarometer eine Correction in Bezug auf die Wärme vorzunehmen, da diese sowohl das Quecksilber, als auch, und zwar noch mehr, die in L befindliche Luft ausdehnt und da-

durch einen störenden Einfluß auf das Resultat der Beobachtung ausübt. Die Correction hinsichtlich der Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme kann entweder nach der im Art. Barometer S. 702 ff. mitgetheilten Tabelle ausgeführt werden, nachdem man den Barometerstand mittelst der obigen Formel berechnet hat, oder auch nach der eben da aufgestellten Formel $b' = b\,(1 \mp \frac{1}{5550}\,t) = b \mp b\,.\,t\;0{,}000180180$, in der hier b die beobachtete und b′ die corrigirte Länge der Quecksilbersäule bedeutet, welche sich in der Steigröhre a b über das Niveau des Quecksilbers im Gefäße L erhebt. Das Zeichen — gilt für Grade über, das Zeichen + für Grade unter dem Nullpunkte der Thermometerscale, jenes also für eine Erwärmung, dieses für eine Erkaltung des Quecksilbers. Bedeutender ist die Correction in Bezug auf die durch die Wärme bewirkte Ausdehnung der Luft in der verschlossenen Röhre L. Dieselbe kann nach der Formel $b' = b - b\,(t\,.\,0{,}00366 + t^2\,.\,0{,}00366^2)$ bewerkstelligt werden, wo b′ die corrigirte Höhe der Quecksilbersäule, b die beobachtete Höhe, t den Unterschied zwischen den Temperaturen der eingeschlossenen und der äußeren Luft und 0,00366 den bekannten Ausdehnungscoefficienten der Luft für eine Temperaturveränderung von 1° C. bedeutet. Es ist nämlich zu bedenken, daß die Luft in L durch Einwirkung der Wärme eine stärkere Spannkraft gewinnt und in Folge dessen eine höhere Quecksilbersäule zu tragen vermag, als stattfinden würde, wenn sie mit der äußeren Luft einerlei Temperatur hätte. Ist die in L abgesperrte Luft kälter als die äußere, so hat man in der Formel an die Stelle von — das Zeichen + zu setzen.



Man kann übrigens diese, durch den Temperaturunterschied der äußeren und inneren Luft herbeigeführte Correction ganz umgehen, wenn man die Beobachtung nicht eher anstellt, bis die Luft in L genau die Temperatur der äußeren atmosphärischen Luft angenommen hat.

Diesem Differentialbarometer ist von Kopp *) folgende zweckmäßige Einrichtung gegeben worden. Das Glasgefäß g, welches mit Quecksilber angefüllt ist, communicirt durch ein gebogenes Röhrchen mit der cylindrischen Glasröhre c, in der ein Kolben aus weichem Kork quecksilberdicht sich auf- und niederschieben läßt. Hebt man nun den Kolben in die Höhe, so tritt das Quecksilber in die Röhre c, während sich das Gefäß g durch das Röhrchen a b mit atmosphärischer Luft füllt. Geht jetzt der Kolben wieder herab, so wird in dem oberen Theile von g ein Luftquantum abgesperrt, das mit der äußeren Luft gleiche Dichte hat, sofern das Quecksilber die Oeffnung a des Röhrchens a b eben verschließt. Drückt man aber den Kolben noch weiter herab, so erleidet die Luft in g eine Compression, so daß sie einen Theil des Quecksilbers in das Röhrchen a b hineintreibt. Nun steht die comprimirte Luft sowohl mit der in a b gehobenen Queck-

*) Poggend. Ann. Bd. LVI. S. 515.

silbersäule als auch, und zwar durch die letztere, mit dem Drucke der atmosphärischen Luft im Gleichgewichte. Das Quecksilber berühre die Drahtspitze i, welche vom Deckel des Gefäßes g herunterragt und die im letzteren abgesperrte Luft sei dann auf $^3/_4$ ihres anfänglichen Volumens zusammengepreßt; so entspricht diesem Volumen, nach dem Mariotte'schen Gesetze, ein Druck von $^4/_3$ Atmosphäre und die Höhe des Quecksilbers in a b beträgt $^1/_3$ des Barometerstandes. Da die Höhe der in a b gehobenen Quecksilbersäule stets dem gerade statthabenden Barometerstande proportional ist, so läßt sich immer eine constante Zahl finden, mit welcher man jene Höhe multipliciren muß, um den gesuchten Barometerstand zu erhalten. Die Spitze i werde wieder vom Quecksilber im Gefäße g berührt, während das Quecksilber in der Röhre a b 116 Millimeter hoch stehen mag. Ist nun der Barometerstand = 759^{mm}, so verhält sich zu diesem die Höhe der in a b befindlichen Quecksilbersäule wie 116 : 759. Wenn dieses Verhältniß einmal bekannt ist, so braucht man nur am Differentialbarometer die Höhe der in a b gehobenen Quecksilbersäule zu beobachten und sie mit $\frac{759}{116} = 6{,}5431$ zu multipliciren, um den Barometerstand zu bestimmen. Dabei ist vorausgesetzt, daß man den Kolben nur so weit hinabgedrückt hat, als eben nöthig ist, damit das Quecksilber die Spitze i berühre.

Außer der Spitze i befindet sich noch eine zweite 0 im Gefäße g. Bringt man das Quecksilber mit dieser, welche etwas höher als jene liegt, in Berührung, so wird die abgesperrte Luft stärker als vorher comprimirt und dem zufolge auch eine längere Quecksilbersäule in die Röhre a b getrieben. Das Verhältniß zwischen dieser Säule und dem Barometerstand kann natürlich jetzt nicht mehr dasselbe wie oben sein. Sei die Höhe der Quecksilbersäule in a b bei einem Barometerstande von 359^{mm} gleich 130^{mm}, dann ist $\frac{759}{130} = 5{,}8384$ die constante Zahl, mit welcher die am Differentialbarometer beobachtete Quecksilbersäule multiplicirt werden muß, um den jedesmaligen Barometerstand zu erhalten. Uebrigens sind die Resultate ganz dieselben, mag man nun das Quecksilber bei i oder bei 0 einstellen, so daß diese Einrichtung ein passendes Mittel gewährt, um die vermittelst der einen Spitze gemachte Beobachtung durch die andere zu controliren.

Die Spitzen i und o dienen zugleich als Nullpunkte der beiden Scalen, welche an der Röhre a b befindlich sind, und zwar so, daß i der Theilung links, o der Theilung rechts entspricht. Hat man das Quecksilber mit i in Berührung gebracht, so liest man jene Theilung, ist es aber bei o eingestellt, die andere ab. Uebrigens reicht auch eine, beliebig getheilte Scale aus, bei der sich der Nullpunkt nahe über der Fassung des Gefäßes g befindet, wenn man die Abstände der beiden Drahtspitzen von dem Nullpunkte der Scale, in Theilen der letzteren ausgedrückt, ermittelt und dann die in der Steigröhre a b beobachteten Quecksilberhöhen durch diese Abstände corrigirt.

Nehmen wir an, der Abstand der Drahtspitze i von dem Nullpunkte der Scale sei = a, der der Drahtspitze o = b. Ferner sei, wenn das Quecksilber mit i in Berührung ist, die auf der Scale abgelesene Quecksilberhöhe = $\mathfrak{A}$, wenn es bei o eingestellt ist, aber = $\mathfrak{B}$. Dann ist die ganze Quecksilberhöhe im ersten Falle $A = \mathfrak{A} + a$, im zweiten $B = \mathfrak{B} + b$. Sind nun α und β die aus mehreren

Beobachtungen bestimmten Constanten, mit denen A und B multiplicirt werden müssen, um den wirklichen Barometerstand zu erhalten, so hat man für den letzteren $A\alpha = B\beta$. Die Werthe von α und β sind nun für dasselbe Instrument stets dieselben, sofern es selbst keine Veränderung erlitten hat. Ist aber eine solche eingetreten, so giebt sich dieselbe durch die Ungleichheit der Producte $A\alpha$ und $B\beta$ zu erkennen. Eine noch bequemere Controle besteht in der jedesmaligen Berechnung des Quotienten $\frac{B}{A}$, welcher, wenn das Instrument noch dieselbe Beschaffenheit wie zur Zeit der directen Bestimmung von α und β hat, dem vorher bestimmten Quotienten $\frac{\alpha}{\beta}$ gleich sein muß. Eine erhebliche Differenz dieser Quotienten deutet entweder auf eine Veränderung des Instrumentes oder auf eine Fehlerhaftigkeit der Beobachtungen hin. Durch eine Wiederholung der letzteren stellt sich dann immer heraus, ob das eine oder andere der Fall ist. Uebrigens giebt diese Controle stattgefundene Veränderungen um so deutlicher kund, je mehr der Quotient $\frac{B}{A}$ von 1 abweicht. Aus diesem Grunde müssen die beiden Drahtspitzen von ziemlich ungleicher Länge sein, damit eben die Beobachtungen hinreichend verschiedene Werthe von A und B geben.

Eine Unsicherheit kann in die Angaben dieses Instrumentes dadurch kommen, daß nicht immer gleich viel Luft in dem Behälter g abgesperrt wird, während eine zweite ihren Grund in einem unrichtigen Einstellen des Quecksilbers bei den Drahtspitzen hat. Diese beiden Fehlerquellen werden indessen um so geringer, je höher der Luftbehälter g bei gleicher Weite ist. Deshalb hat Kopp*) eine Construction empfohlen, bei der die Steigröhre ab fast ganz in einem cylindrischen Behälter eingeschlossen ist. Die Scale ist hier auf das Glas der Steigröhre selbst aufgetragen und an der letzteren sind auch die Drähte angebracht, mit deren Spitzen das Quecksilber auf die angegebene Weise in Berührung zu bringen ist. Ein Platindraht ist nämlich in seinem mittleren Theile spiralförmig gerollt und auf die Steigröhre geschoben, so daß seine beiden Endstücke in einem gewissen Abstande von der Röhre vertikal herabragen.

Um das Instrument mit Quecksilber zu füllen, nimmt man den Kolben aus der Röhre c heraus, verschließt das obere Ende b der Steigröhre mit einem kleinen Stöpsel und gießt eine hinreichende Menge von möglichst reinem Quecksilber ein. Hierauf setzt man den Kolben in die Oeffnung der Röhre c, kehrt das Instrument um und drückt den Kolben, nachdem man den Stöpsel von dem Ende b der Steigröhre hinweggenommen hat, langsam aufwärts, bis alle Luft aus dem Cylinder c und der krummen Verbindungsröhre entfernt ist. Man kann so viel Quecksilber einfüllen, daß dasselbe bei dem höchsten Stande des Kolbens in c eine oder zwei Linien unter dem Ende a der Steigröhre steht, vorausgesetzt, daß zwischen dem Kolben und dem Quecksilber keine Luft mehr vorhanden ist. Um es zum Transport einzurichten, zieht man den Kolben so weit in die Höhe, bis das Quecksilber in g gerade unter dem Ende a der Steigröhre steht und verschließt dann das obere Ende b der letzteren mit einem Korkstöpsel. Vor dem Gebrauche schafft man

*) Poggend. Ann. Bd. LVI.

sämmtliche Luft aus der Röhre c und der krummen Verbindungsröhre hinweg, indem man das Instrument umkehrt und den Kolben aufwärts drückt. Hierauf giebt man dem Instrument seine natürliche Stellung und nimmt den Stöpsel vom oberen Ende b der Steigröhre hinweg. Will man nun Beobachtungen mit ihm anstellen, so hängt man es an irgend einem feststehenden Gegenstand vertikal auf, was mit Hülfe eines Senkbleies leicht zu bewerkstelligen ist.

Obschon das Differentialbarometer einem gewöhnlichen, gut construirten Barometer in Bezug auf Genauigkeit der Angaben nachsteht, so gewährt es doch bei Höhenmessungen in vielen Fällen eine hinreichende Genauigkeit, wie sich durch vielfache Beobachtungen herausgestellt hat. Sonst hat es ohne Zweifel den Vortheil einer leichten Transportirbarkeit und den Umstand für sich, daß es durch den Transport bei weitem weniger wie ein gewöhnliches Barometer beschädigt werden kann.

Wesentlich verschieden von dem bisher betrachteten Instrumente ist das Wollaston'sche Differentialbarometer, das kleine Veränderungen in der Spannkraft der Luft anzeigt, aber auch benutzt wird, um den Druck und die Geschwindigkeit des Windes zu ermitteln. Man sehe darüber den Artikel Anemoskop (Anemometer), Bd. I. S. 185.

Differentialbeobachtungen heißen im Allgemeinen die vergleichenden Beobachtungen zweier Gestirne, deren Orte an der Himmelskugel von einander bis auf einige Grade verschieden sind. Im Besondern versteht man unter D das von Littrow (dem Vater) angegebene Verfahren, mittels des Aequatoreals (s. d.), ohne alle Berücksichtigung der Fehler dieses Instruments, den noch unbekannten Ort eines Gestirns durch den schon bekannten Ort eines andern Gestirns zu bestimmen. Dieses Verfahren besteht in Folgendem. Man richtet das Fernrohr (des Aequatoreals) mit dem Durchschnittspunkte der beiden Mittelfäden auf den Stern, dessen Rectascension α und Declination δ bekannt ist, und notirt hierauf die Zeit t dieser Beobachtung, so wie den Grad g des Declinationskreises des Instruments, den der Index für diese Stellung des Fernrohres anzeigt. Man löse nun, den Stundenkreis des Aequatoreals jedoch geschlossen lassend, das Fernrohr und bringe es mit dem Durchschnittspunkte beider Mittelfäden auf den Stern, dessen Rectascension α' und Declination δ' noch unbekannt ist, zu der Zeit, wo er durch den Declinationskreis des erstern Sterns geht. Man notirt alsdann die Zeit t' dieser zweiten Beobachtung, so wie den Grad g' des Declinationskreises des Instruments, den der Index für die jetzige Stellung des Fernrohrs anzeigt. Die vier Größen t, t', g und g' lassen nun, nebst den bekannten α und δ, die Rectascension α' und Declination δ' finden. Hierbei wird nur die Bedingung gestellt, daß die Fehler des Instruments wenigstens schon so gering sind, daß der Unterschied dieser Fehler in beiden Beobachtungen ohne Einfluß auf das gesuchte Ergebniß bleibt. Nur zwei Fälle giebt es, wo die Refraction berücksichtigt werden muß: erstens wenn beide Gestirne in geringen Höhen über dem Horizonte beobachtet worden sind; zweitens sobald sie in Declination um mehr als blos etliche Grade von einander entfernt stehen. Im 13. und 14. Bande der Wiener Annalen befinden sich viele, auf diese Weise angestellte Beobachtungen, welche die Brauchbarkeit der D trefflich bestätigen und deren große Bequemlichkeit, weil derartige Beobachtungen binnen etlichen Minuten vollendet sein können, nachweisen. Auch ihre Berechnung ist

sogar weit einfacher, als die der Kreismikrometer-Beobachtungen. — Demungeachtet werden letztere noch jetzt vorzugsweise angestellt, die Methode der D dagegen, so viel wir wissen, leider zu wenig angewendet.

Noch werde erwähnt, daß man bisweilen zwischen D und Differenzbeobachtungen unterscheidet, indem Littrow unter letzteren solche versteht, wie sie oben erklärt worden sind, während er D solche nennt, wo die beiden zu vergleichenden Sterne zu derselben Zeit zusammen im Gesichtsfelde des Fernrohres stehen. Indessen ist eine derartige Unterscheidung durchaus keine wesentliche.

Jahn.

Differentialinductor Faraday's, s. Elektricität.

Differentialinductor Dove's, s. Induction, elektrische.

Differentialsextant, s. Mikrometer.

Differentialthermometer, Differenzthermometer bezeichnet gewöhnlich ein von Leslie angegebenes empfindliches Thermometer, welches in Folge der Ausdehnung der Luft geringe Wärmegrade anzeigt. Dasselbe besteht in seiner von Leslie *) angegebenen Gestalt aus zwei Röhren bf und agf, an die bei a und b zwei möglichst gleich große Glaskugeln (4 bis 7 par. Linien im Durchmesser) angeblasen sind und die bei f mit ihren etwas sich erweiternden Mündungen an einander geschmolzen sind. In diesen nun ein Ganzes ausmachenden Röhren befindet sich eine geringe Quantität von einer mit Karmin gefärbten Flüssigkeit. So lange beide Schenkel des Instruments derselben Temperatur ausgesetzt sind, wird die in beiden Schenkeln gleich erwärmte, daher auch gleich elastische Luft denselben Druck gegen die Flüssigkeit ausüben und daher diese nicht aus der Stelle gerückt werden. Sobald aber der eine Schenkel einer höheren Temperatur als der andere ausgesetzt wird, gewinnt die Elasticität der in ihm enthaltenen Luft das Uebergewicht über die der Luft im anderen Schenkel und drückt deshalb die Flüssigkeit in demselben herab. Das Thermometer ist also nur für die Temperaturunterschiede, welche zwischen den beiden Schenkeln und Kugeln stattfinden, empfindlich, woher es auch seinen Namen (v. d. lat. differentia, Unterschied) erhalten hat.

Um diese Unterschiede genau zu bestimmen, wird die kürzere Röhre (von etwa 0,02 oder 0,018 Zoll Weite) genau calibrirt und mit einer Scale versehen. Bei f, wo beide Röhren zusammengeschmolzen sind, befindet sich eine kleine Erweiterung, die dazu dient, den Stand der Flüssigkeit zu reguliren. Die längere Röhre agf kann etwas weiter als die Röhre bf sein, damit sich die Flüssigkeit in ihr leichter bewegen könne. Die Höhe des Instruments von der Biegung an beträgt 3 bis 6 Zoll. Die Verfertigung des Differentialthermometers nach Leslie ist diese. Erst hat man beide Röhren getrennt von einander. Die längere Röhre ist noch nicht umgebogen; die Luft in der Kugel derselben wird durch die Wärme der Hand etwas ausgedehnt und die offene Mündung der Röhre in eine mit Karmin gefärbte Flüssigkeit getaucht. So wie nun die Kugel wieder erkaltet,

*) Leslie, experimental Enquiry into the Nature and propagation of heat. London 1804. Ann. de Chim. XXXV. 1. Kurzer Bericht von Versuchen und Instrumenten, die sich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen. Von J. Leslie, übers. mit Anmerk. v. H. W. Brandes. Leipzig 1823.

steigt eine Quantität dieser Flüssigkeit in die Röhre. Hierauf werden beide Röhren mit ihren (wie oben gesagt, etwas erweiterten) Mündungen an einander geschmolzen und darauf die erforderliche Umbiegung vorgenommen, so daß das Instrument die in der Figur angegebene Gestalt, die der eines U gleicht, erhält. A ist das Fußgestell, auf welches das Instrument befestigt wird und s die oben erwähnte Scale.

Bei diesem Verfahren bieten sich mehrere Schwierigkeiten dar, indem es schwer hält, die beiden Kugeln genau von gleicher Größe herzustellen, so wie die vorher benetzten Röhren zusammenzuschmelzen und beim Biegen, nachdem schon die Flüssigkeit in die Röhre gefüllt worden, diese leicht zu Grunde geht.

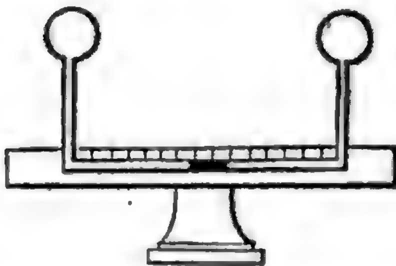
Leichter ist die Herstellung des Instruments, wenn man demselben vor Einfüllung der Flüssigkeit seine vollständige Gestalt giebt, so aber, daß die Erweiterung bei f in eine feine mit einer Mündung versehene Spitze ausläuft. Die beiden Kugeln werden nun gleichmäßig erwärmt und die erwähnte Spitze in die gefärbte Flüssigkeit getaucht, welche dann beim Erkalten der Kugeln in die Röhre dringt und den horizontalen Theil derselben, so wie von den senkrechten Schenkeln einen solchen Raum erfüllt, als der Größe jeder der beiden Kugeln proportional ist. Die feine Spitze wird hierauf durch Hineinhalten in die Flamme einer Kerze zugeschmolzen.

Noch eine dritte von de Butt *) erfundene Art, das Instrument herzustellen, welche leichter als die vorhergehenden ist, und wo der lufterfüllte Raum in beiden Kugeln ganz gleich ist, beschreibt Muncke **). An die calibrirte Thermometerröhre a b (siehe nebenstehende Figur) wird eine Kugel geblasen, eine andere Röhre e g aber, welche genau so weit ist, daß jene sich willig hineinschieben läßt, wird gleichfalls zu einer etwas weiteren Kugel aufgeblasen und hierbei zugleich das untere Ende so verengert, daß die erstere Röhre hier nicht einsinkt. Damit dann der Luftraum in beiden gleich werde, darf man nur von der anfänglich jederzeit zu langen Röhre a b ein Stück abschneiden, welches vom Boden der Kugel bis an e reicht, dann die an a b befindliche Kugel nebst der Röhre bis so weit, als wohin bei mittlerem Stande des Instruments die Flüssigkeit reichen soll, mit Quecksilber füllen, dieses wieder ausgießen, die nämliche Quantität in die untere Kugel schütten, das abgeschnittene Ende der Röhre hineinsenken, oben mit dem Finger verschließen und die Kugel umkehren, wobei dann die Grenze des Quecksilbers genau die Grenze c d anzeigt, bis wie weit die untere Kugel mit Flüssigkeit bei Verfertigung des Instruments erfüllt werden muß. Nach dieser empirischen, aber genauen Messung wird die untere Kugel bis an die bezeichnete Grenze mit Schwefelsäure gefüllt, welche durch etwas Karmin roth gefärbt ist, die Röhre a b hineingesenkt, dann das Instrument auf ein Fußgestell so befestigt, wie die Zeichnung angiebt, und die Mündung der oberen Röhre einigemal mit Bleiweiß und gut trocknendem Oelfirniß vermittelst eines Maler-



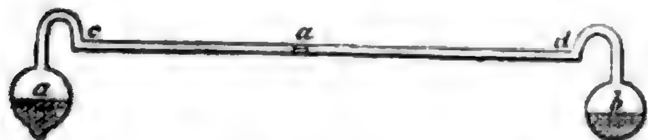
*) Phil. Trans. of the American philos. soc. New series.
**) Gehler N. A. Bd. II. S. 539.

pinsels bestrichen, bis der enge Raum zwischen beiden Röhren luftdicht verschlossen ist. Man erwärmt dann die obere Kugel vorsichtig mit der Hand und läßt sie wieder erkalten, worauf etwas von der gefärbten Flüssigkeit in der Röhre aufsteigt; zugleich aber wiederholt man dieses Verfahren so lange, bis bei gleicher Temperatur beider Kugeln die Flüssigkeit so hoch steht, als anfänglich bei der Messung bestimmt wurde. — Bei dem von Leslie gefertigten Instrumente enthielt die Röhre mit etwas Karmin gefärbte Schwefelsäure, welche den Vorzug hat, daß sie die Feuchtigkeit aus der Luft in den Kugeln aufnimmt und dadurch einen störenden Einfluß derselben verhindert. Um an dem Instrumente nicht blos einen Anzeiger von Unterschieden in der Temperatur der beiden Kugeln zu haben (Thermoskop), sondern den Unterschied der Wärme in beiden Kugeln durch ein absolutes Maß ausdrücken zu können (ein Thermometer zu haben), werden nach Leslie beide Kugeln auf dieselbe Temperatur gebracht; dann hat die Flüssigkeit einen gleichen Stand in beiden Röhren, weil, wie schon oben gesagt wurde, die Luft auf beiden Seiten gleich stark auf die Flüssigkeit drückt. Der Stand, den nun hierbei die Flüssigkeit einnimmt, wird an der Scale mit 0 bezeichnet; hierauf wird der Stand der einen Kugel allein um 10° C. erhöht oder vermindert, der Stand, den nun die Flüssigkeit in der Röhre einnimmt, ebenfalls an der Scale bemerkt und endlich der Zwischenraum zwischen diesem und dem mit 0 bezeichneten Punkte in 100 Theile getheilt. Hiernach entsprechen 100 Abtheilungen dieser Scale einer Temperaturdifferenz von 10° C., oder 10 Abtheilungen einer Temperaturdifferenz von 1° C., so daß man also mit diesem Instrumente Zehntheile von Centesimalgraden beobachten kann, und die Eintheilung einer Theilung des Abstandes von dem Gefrierpunkte bis zum Siedepunkte in 1000 Abtheilungen entspricht. Um den beiden Kugeln genau eine Temperaturdifferenz von 10° C. zu geben, ist es am besten, jede der Kugeln mit der zugehörigen Röhre mittelst eines durchbohrten Korkes in eine weite Glasröhre und in diese Wasser zu bringen, so daß die Temperatur des die eine Kugel umgebenden Wassers genau um 10° C. die Temperatur des die andere Kugel umgebenden Wassers übertrifft. Aehnlichkeit mit dem Leslie'schen Differentialthermometer hat Rumford's Thermoskop *), das ebenfalls den Zweck hat, geringe Wärmegrade und Temperaturdifferenzen zu messen. Dasselbe besteht aus einer horizontalen, etwa 17 Zoll langen Glasröhre, welche auf beiden Seiten vertikal aufwärts gebogen und an ihren Enden mit Kugeln von 1,5 Zoll Durchmesser versehen ist. Die vertikalen Schenkel haben eine Länge von 8 — 10 Zoll. In dem horizontalen Theil der Röhre befindet sich ein kleines, ungefähr 0,75 Zoll langes Säulchen von gefärbtem Weingeist, welches genau die Mitte der Röhre einnehmen muß, wenn die Luft in beiden Kugeln einerlei Temperatur hat, also auf beiden Seiten des Säulchens einen gleich starken Druck ausübt. Wirken dagegen ungleiche Wärmequellen auf beide Kugeln ein, so wird das Säulchen nach der kälteren Kugel hingetrieben. Die Entfernung desselben von der Mitte der Röhre, welche dem Nullpunkte der Theilung an letzterer entspricht, ist der Temperaturdifferenz beider Kugeln proportional.



*) Philosoph. Transact. 1804. T. I. p. 99. Mém. de l'Inst. T. VI. p. 71.

Einen noch höheren Grad der Empfindlichkeit besitzt ein von G. G. Schmidt construirtes Instrument, das auch Mikrokalorimeter genannt wird. Zwei Glaskugeln von 1 bis 1,5 Zoll Durchmesser werden durch eine 3 Fuß lange oder noch längere und 1 bis 1,3 Linien weite Röhre mit einander verbunden, mit etwas gefärbtem Alkohol gefüllt und durch Sieden des letzteren luftleer gemacht. Hierauf



wird an der einen Kugel a die feine Spitze zugeschmolzen, durch welche der Weingeist in den Apparat gebracht wurde. In dem letzteren läßt man ungefähr so viel Weingeist zurück, daß jede Kugel damit etwa bis zum vierten Theil angefüllt ist. In der horizontalen Röhre befindet sich gleichfalls ein kurzes Säulchen Weingeist. das bei gleicher Erwärmung beider Kugeln die Mitte der Röhre einnimmt, bei ungleicher Temperatur der Kugeln aber durch die Elasticität der Weingeistdämpfe von der einen nach der anderen hingetrieben wird. Obschon dieses Instrument keine eigentliche Messung der Wärmegrade gestattet, so ist doch seine Empfindlichkeit so groß, daß dieselbe nach Schmidt einer Temperaturdifferenz von $\frac{1}{3000}$ eines Grades R. entspricht. Uebrigens steigt die Empfindlichkeit im Allgemeinen mit der Größe der Kugeln, mit der Enge und Länge der Röhre, vorausgesetzt dabei, daß der angewendete Alkohol sehr rein und der Apparat möglichst vollständig von Luft befreit ist. — Seit Einführung des Thermomultiplicator (siehe diesen Artikel) finden die Differentialthermometer als eigentliche Meßwerkzeuge nur noch sehr wenig Anwendung. Ueber ihren Gebrauch als Aethrioskop, Pyroskop und Photometer sehe man die betreffenden Artikel.

Diffraction des Lichtes, s. Inflexion.

Diffusion. Unter Diffusion der Gase und Flüssigkeiten versteht man den Act der gegenseitigen Durchdringung derselben, für den Fall, daß sie dabei keine chemische Verbindung eingehen.

Man kann im Ganzen folgende Hauptfälle der Diffusion unterscheiden:

1) Diffusion von Gasen gegen Gase; und zwar
   a) wenn sie sich unmittelbar berühren, oder
   b) nur durch eine poröse Scheidewand oder capillare Oeffnung mit einander in Verbindung stehen.
2) Diffusion der Flüssigkeiten gegen Flüssigkeiten, und zwar mit denselben Fällen a) und b) wie 1).
3) Diffusion von Gasen gegen Flüssigkeiten und umgekehrt; wieder unter denselben Umständen a) und b) wie 1) und 2).

Von diesen drei Hauptfällen sind nur die unter 1 und 2 von den Physikern genauer untersucht worden.

Ueber den Fall 2) b) siehe den Artikel Endosmose.

Der allgemeine Satz, der für die Diffusion der Gase ohne Scheidewand gilt, ist folgender: Wenn man in ein und denselben Raum verschiedene Gase bringt, welche keine chemische Wirkung aufeinander ausüben, so verbreitet sich jedes gleichförmig durch den ganzen Raum. Dieser von Dalton aufgestellte Fundamentalsatz ist zuerst

durch directe Versuche Berthollet's *) außer Zweifel gesetzt worden. Der Apparat bestand aus zwei mit Hähnen versehenen Ballons (der eine A von 26,07 und der andere B von 27,75 Cubikcentim. Inhalt), die durch eine 26,5 Centim. lange und 5m weite Röhre mit einander communicirten. Jeder dieser Ballons wurde mit einem besondern Gase gefüllt, dann geschlossen, an die Communicationsröhre geschraubt und das Ganze in einer verticalen Stellung (den Ballon mit dem leichtern Gase nach oben gekehrt) so lange in dem Gemache stehen gelassen, bis es die Temperatur desselben angenommen hatte. Nun wurden die Communications-Hähne geöffnet, längere Zeit offen gelassen, darauf wieder geschlossen und die Gase in jeder Kugel analysirt. So ergaben sich folgende Resultate:

Gase, mit denen die Kugeln A u. B gefüllt waren	Volume des einen Gases in beiden Kugeln (in Procenten)	Nach Stunden
A Wasserstoff B Kohlensäure	41,73 Kohlensäure 43,26 "	48
A Wasserstoff B gemeine Luft	47,24 Wasserstoff 47,62 "	48
A Wasserstoff B Kohlensäure	43 Kohlensäure 46 "	24
A gemeine Luft B Kohlensäure	28 Kohlensäure 56 "	24
A Stickstoff B Sauerstoff	60 Sauerstoff 39,3 "	24
A Wasserstoff B Sauerstoff	50 Sauerstoff 50 "	24
A Wasserstoff B Stickstoff	46 Wasserstoff 45 "	24
A Stickstoff B Kohlensäure	22 Kohlensäure 60 "	24
A Stickstoff B Kohlensäure	35 Kohlensäure 61 "	48
A Sauerstoff B Kohlensäure	24 Kohlensäure 60 "	24
A gemeine Luft B Kohlensäure	42 Kohlensäure 50 "	7 Tage

*) Memoires de la Soc. d'Arceuil. T. II. p. 463 und Poggend. Ann. der Phys. Bd. XVII. S. 341.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß das Wasserstoffgas sich am schnellsten mit andern Gasen mischt, ein Resultat, das auch durch alle spätern Erfahrungen bestätigt worden ist.

Graham *) stellte gleichfalls Untersuchungen über diesen Gegenstand an. Er füllte das Gas, das er untersuchen wollte, in eine weite unten zugeschmolzene Glasröhre, die mit einem eingeriebenen Stöpsel verschlossen wurde. Durch diesen Stöpsel führt eine engere außen rechtwinklig umgebogene Röhre von ungefähr einer Linie im Durchmesser. War das Gas leichter als Luft, so war die Oeffnung der engern Röhre nach unten gekehrt, im andern Falle nach oben. Dies geschah, um ein mechanisches Ausfließen des Gases zu verhüten. Der Apparat blieb nun, nachdem er gefüllt worden, mehrere Stunden lang liegen. Alsdann wurde sein Inhalt untersucht, um zu erfahren, wie viel von dem Gase entwichen und wieviel atmosphärische Luft dafür eingedrungen war. Nachstehendes sind die Resultate dieser Versuche:

	Dichtigkeit	Von 150 Theilen nach 10 Stunden noch vorhanden	Von 152 Theilen nach 4 Stunden noch vorhanden
Wasserstoff	0,0694	8,3	28,1
Sumpfgas	0,5555	56,0	86,0
Ammoniak	0,59027	61,0	89,0
Oelbildendes Gas . . .	0,9722	77,5	99,0
Kohlensäure	1,5277	79,5	104,0
Schweflige Säure . . .	2,2222	81,0	110,0
Chlorgas	2,5000	91,0	116,0

Aus diesen Versuchen erhellt, daß die Zeit des Entweichens gleicher Volume der Gase aus einem Gefäße sich umgekehrt wie eine Function der Dichtigkeit verhält, und zwar ziemlich genau umgekehrt wie die Quadratwurzel aus der Dichtigkeit. Dies Resultat bedarf aber vielleicht noch einiger Bestätigung, da Graham namentlich beim ölbildenden Gas gefunden hat, daß das Entweichen nicht gleichförmig ist, sondern mit der Zeit abnimmt, in dem Maße, als die Gasmenge im Gefäße sich vermindert. Ebenso hat der mechanische Widerstand, der aus der Verschiedenheit im specifischen Gewicht mit der Luft entspringt, einen Einfluß auf diese Erscheinungen. Stand die Röhre mit Wasserstoff vertical, der Stöpsel nach unten gekehrt, so waren von 150 Th. nach 10 Stunden noch 22 Th. darin, während, wenn sie lag, nur noch 8,3 zurückgeblieben waren.

Andere Versuche hatten das Entweichen oder Eindringen von Gasen in andere Gase als atmosphärische Luft zum Gegenstand. Es wurden zwei Flaschen, eine untere und eine obere, mit einander verbunden. Die untere enthielt Kohlensäure, die obere ein Gemenge aus gleichen Raumtheilen ölbildendem Gas und Wasserstoff.

*) Quarterly Journ. of Sciences New Series. No. XI. p. 74 und Poggend. Ann. Bd. 17. S. 341.

Nach 10 Stunden ergab sich als Inhalt der obern nach Wegnahme der Kohlensäure durch Kalkwasser 3,1 Volumen Wasserstoff und 12 Volumen ölbildendes Gas.

Ueber die Diffusion der Gase für den Fall, daß sie durch poröse Scheidewände oder capillare Räume getrennt sind, wurden zuerst von Faraday, Döbereiner und Magnus und später von Graham Versuche angestellt. Faraday*) füllte gläserne Flaschen, welche eingeriebene Stöpsel hatten, bis auf $^{4}/_{5}$ mit Wasserstoff, steckte dann die Stöpsel fest hinein und stellte sie umgekehrt bis über die Hälse in Quecksilber, worin sie (in einem dunkeln Schranke aufbewahrt) 15 Monate lang stehen blieben. Als er sie dann öffnete, war das Volumen des Gases ziemlich unverändert geblieben, aber es bestand nicht mehr aus Wasserstoff, sondern aus atmosphärischer Luft, nur in einigen fand sich derselben noch etwas Wasserstoff beigemengt. Döbereiner **) fand, daß Wasserstoffgas, das in Glasgefäßen mit einem feinen capillaren Sprung aufbewahrt wurde, durch den letzteren entwich, indem das sperrende Wasser aus dem Glase in die Höhe stieg und sich häufig darin bis zu einer Höhe von 3 Zoll über den äußern Wasserspiegel erhob.

Magnus war durch die Döbereiner'schen Versuche veranlaßt worden, sie zu wiederholen. Er variirte sie, indem er die gesprungene Glocke noch mit einer andern ganzen umgab und das Wasserstoffgas so in den Raum zwischen beiden Glocken diffundiren ließ; oder indem er diesen Raum mit Wasserstoff füllte und aus ihm das Wasserstoffgas in die innere mit Luft gefüllte Glocke dringen ließ. Der Grund dieses Arrangements war folgender. Magnus glaubte anfänglich, daß das Wasserstoffgas in der Glocke mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft im capillaren Risse zusammenkomme und sich dort mit ihm zu Wasser verdichte. Wenn nun das Wasser verdampfe, so werde das Wasserstoffgas abnehmen und die Sperrflüssigkeit steigen. Bei seinem Arrangement mußte nun, wenn er mit seiner Hypothese Recht hatte, die Sperrflüssigkeit in beiden Räumen steigen. Er überzeugte sich aber bald von der Grundlosigkeit seiner Annahme, da das Volumen in der einen Glocke sich gerade um so viel verminderte, als das in der andern zunahm.

Diese Arbeiten von Faraday, Döbereiner und Magnus hatten aber den Gegenstand noch lange nicht erschöpft; man konnte sie höchstens vorläufige interessante Versuche nennen. Graham verdanken wir eine ausführlichere Arbeit über diesen Punkt, deren Resultat folgendes Gesetz ist:

Wenn zwei Gase, die keine chemische Wirkung aufeinander ausüben, durch eine poröse Scheidewand getrennt sind, so dringen durch die letztere von jedem Gase Volume, welche sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Dichten der beiden Gase verhalten; vorausgesetzt nur, daß der Druck der Gase auf beiden Seiten der Scheidewand während des ganzen Vorganges gleich groß erhalten wird.

---

*) Poggend. Ann. Bd. VIII. S. 124.

**) Poggend. Ann. Bd. X. S. 153 und in einer Schrift „Ueber die neuentdeckte höchst merkwürdige Eigenschaft des Platins und die pneumatische capillare Thätigkeit gesprungener Gläser."

Die früher gewöhnliche Art der Untersuchung der Diffusionsphänomene konnte, da sie an vielen Mängeln litt, zu messenden Beobachtungen über diese Phänomene nicht gebraucht werden. Graham fand bald, daß durch die Verminderung des inneren Druckes, welche eben das Steigen der Sperrflüssigkeit zur Folge hat, dem Entweichen des eingeschlossenen Gases lange vor seiner Beendigung eine Grenze gesetzt wird, daß ferner bei Anwendung der capillaren Sprünge in Glasglocken zwei aufeinanderfolgende Beobachtungen nie übereinstimmende Resultate gaben. Um dem ersten dieser Uebelstände vorzubeugen, hielt Graham den Spiegel der Sperrflüssigkeit in und um die Glocke fortwährend in gleicher Höhe, entweder durch allmäliges Senken der Glocke oder durch Zugießen zum äußern Theile der Sperrflüssigkeit.

Statt die Diffusion durch capillare Glassprünge vor sich gehen zu lassen, wandte er, nachdem er verschiedene andere Sachen, z. B. oben luftdicht verschlossene unglasirte Cylinder von Wedgewood-Masse probirt hatte, als die geeignetste Vorrichtung Glasröhren an, von 6 bis 14 Zoll Länge und $1/2$ Zoll innerem Durchmesser, die oben mit einem 0,1 bis 0,6 Zoll dicken Gypspfropfen verschlossen waren. Der gebrannte Gyps wurde, mit Wasser angerührt, in die Oeffnung der Röhre gebracht und, nachdem er erhärtet, durch 24stündiges Liegen an der freien Luft oder durch Erhitzen bis 200° F. (93° C.) getrocknet. Dieser Gypspflock saß fest in der Röhre und war im getrockneten Zustande, selbst bei größter Feuchtigkeit der Atmosphäre, durchdringlich für die Gase. Thierische Blase feucht über die Röhre gespannt und getrocknet eignete sich nicht, sie wirkte wenigstens 20mal langsamer und ließ leicht bei Ungleichheit des Drucks Gas und Luft mechanisch durch. Ebenso Goldschlägerhäutchen. Dagegen sind trockne und gesunde Korkstöpsel gute Stellvertreter der Gypspflöcke; auch dünne Blätter von gewissen körnigen Mineralien, als vom biegsamen Dolomit (Magnesia-limestone) rc., so wie Steinkohle; selbst nicht zu poröse Hölzer eignen sich dazu. Graham blieb aber, als bei dem geeignetsten Material bei den Gypspflöcken stehen, die, je dichter sie waren, desto geeigneter zum Versuche sich zeigten. Je lockerer der Pflock war, desto rascher ging der Austausch vor sich, aber es entwich dann, namentlich vom Wasserstoff, mehr als das obige Gesetz verlangte. Graham schreibt diese Abweichung einer besondern physikalischen Eigenschaft des Wasserstoffs zu. Mehr hierüber weiter unten.

Ehe Graham zu den eigentlichen Versuchen überging, suchte er zu erfahren, in wie weit das Absorptionsvermögen des Gypses von Einfluß auf diese Erscheinungen wäre. Es fand sich, daß er auf Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenoxydgas, Steinkohlengas und ölbildendes Gas selbst bei 58° F. (= 14°,5 C.) keine Einwirkung hatte, daß er dagegen bei 78° F. (= 24°,5 C.) absorbirte vom:

Ammoniakgas	6,5	Volumen
Schwefligsaurem Gas . . .	0,75	=
Cyangas	0,50	=
Schwefelwasserstoffgas . . .	0,45	=
Kohlensäuregas	0,25	=

Mit Ausnahme des Ammoniakgases sind die absorbirten Mengen so gering, daß sie nicht in Betracht kommen.

Als Sperrflüssigkeit wurde bei den folgenden Versuchen Wasser angewendet, weil sich dieses leichter als Quecksilber innerhalb und außerhalb des Glasrohres in

gleichem Niveau erhalten ließ. Doch hat man bei Anwendung des Wassers darauf zu sehen, daß der Gypspflock nicht benetzt wird. Um mit einer etwas beträchtlichern Gasmenge arbeiten zu können, wandte er eine Röhre an, die nach oben zu bis etwa 0,4 Z. vom Ende kugelförmig erweitert war. Damit die Veränderung des Gasvolumens durch veränderten Thermo- oder Barometerstand berichtigt werde, stellte er neben die mit Gyps verschlossene Röhre eine gleiche, aber luftdicht verschlossene. Die Volumenänderung, welche das Gas in der letztern erleidet, giebt wenigstens annähernd die Berichtigung, die an dem ersten Gasvolumen anzubringen ist. Da die Gase meist mit Wasser abgesperrt wurden, also mit Wasserdampf gesättigt waren, so stellte Graham auf das obere Ende der Röhre eine Tute von feuchtem Papier, um die eindringende Luft in gleichen Feuchtigkeitszustand zu setzen. Er nimmt dann an, es sei während des Versuchs kein Wasserdampf ein- oder ausgetreten. Das Volumen des Wasserdampfes, welches der während des Versuchs beobachteten Temperatur entsprach, brachte er dann überall in Abzug und erhielt so das entwichene Gasvolumen (das äquivalente Diffusionsvolumen, wie er es nennt) gegen das zur Einheit angenommene Volumen der eingetretenen Luft. Folgende Zahlen sind die Mittelwerthe, die sich aus den angestellten Versuchen ergaben. Bei allen Versuchen waren die mit den Gasen gefüllten Röhren außen von der freien atmosphärischen Luft umgeben.

Name der Gase	Temperatur	Entwichenes Gasvolumen	Eingetretenes Luftvolumen	Quotienten beider Volumina
1) Wasserstoff . .	61° F.	1085,7	282,2	3,848
2) Kohlensäure . .	63°	178,9	223,2	0,814
3) Schweflige Säure	. . .	66,0	97,0	0,68
4) Stickoxydul . .	. . .	51,0	62,0	0,82
5) Cyangas . . .	. . .	83,0	99,5	0,834
6) Schwefelwasserstoff	. . .	69,0	73,0	0,95
7) Sauerstoff . .	64°	795,0	838,0	0,9487
8) Stickstoff . . .	64°	836,0	834,0	1,0143
9) Oelbildendes Gas	59°	800,0	785,0	1,0191
10) Kohlenoxyd . .	. . .	815,0	803,0	1,0149
11) Sumpfgas . .	. . .	252,0	187,0	1,344

Außerdem wurden noch untersucht: Chlorgas, Chlorwasserstoffgas und Ammoniakgas. Das Resultat beim Chlorgas wurde unsicher wegen der zu starken Absorption im Wasser; das Chlorwasserstoffgas griff den Gyps stark an, und das Ammoniakgas wurde vom Gypspflock zu schnell absorbirt, als daß die in die Röhre gebrachte Menge hätte genau gemessen werden können. Mit Ausschluß dieser Resultate und auch der beim Cyangas, welche nach Graham's Urtheil durch die vom Gypspflock ausgeübte Absorption und vielleicht auch durch einen Stickgasgehalt des Cyans unsicher sind, ergiebt sich (wenn man überdies bei der Kohlensäure nur den ersten Versuch berücksichtigt) folgender Vergleich mit der Theorie:

Gase	Specifisches Gewicht = δ	$\sqrt{\frac{1}{\delta}}$	Entwichenes Gasvolumen für 1 Vol. eingetretene Luft
Wasserstoff	0,0694	3,7947	3,8300
Kohlenwasserstoff . . .	0,555	1,3414	1,3440
Oelbildendes Gas . . .	0,972	1,0140	1,0191
Kohlenoxyd	0,972	1,0140	1,0149
Stickstoff	0,972	1,0140	1,0143
Sauerstoff	1,111	0,9487	0,9487
Schwefelwasserstoff . . .	1,1805	0,9204	0,9500
Stickstoffoxydul . . .	1,527	0,8091	0,8200
Kohlensäure	1,527	0,8091	0,8120
Schweflige Säure . . .	2,222	0,6708	0,6800

Man sieht, die Resultate der Beobachtung stimmen ziemlich genau mit dem Gesetze überein. Die Abweichung beim Wasserstoff würde noch geringer sein, wenn Graham nicht den ältern ungenauern Werth von δ dabei zu Grunde gelegt hätte. Bei den Gasen hingegen, die vom Gyps nicht absorbirt werden, ist die Uebereinstimmung zwischen dem Gesetz und den Versuchen vortrefflich, so daß Graham meint, man würde das specifische Gewicht der genannten Gase durch Versuche dieser Art genauer als anderswie bestimmen können. Graham stellte nun einen Versuch so an, daß sich zu beiden Seiten des Gypspfropfes ein abgeschlossenes Gasvolumen befand. Zwei offene in Wasser stehende Röhren wurden oben mittelst Kautschuk durch eine horizontale Röhre verbunden, in deren Mitte ein Gypspflock saß. In das eine Rohr des luftdicht schließenden Apparates wurde Kohlenoxyd, in das andere Stickstoff gefüllt. Es zeigte sich auch nach 24 Stunden keine Volumenänderung und die chemische Analyse ergab, daß beide Gase durch den ganzen Apparat gleichförmig gemischt waren, was nach dem Gesetze erfolgen mußte, da beide gleiches specifisches Gewicht haben. Es ist sehr zu bedauern, daß Graham die Versuche dieser Art nicht auch mit Gasen von ungleicher Dichte angestellt hat, weil die Resultate derselben namentlich für die Prüfung des Diffusionsgesetzes von Wichtigkeit sein würden.

Poggendorf*) hat berechnet, wie das Resultat eines solchen Versuchs nach dem Graham'schen Gesetze ausfallen würde. Seien A und B die Volume beider Gase. Wie groß werden nach vollendetem Austausch die Volume des entstandenen Gasgemenges zu beiden Seiten der Scheidewand sein? Vom Gasvolumen A bleibe der eine Theil a auf der einen Seite der Scheidewand, der andere Theil α bringe durch die Wand hindurch; ebenso zerfälle man B in einen Theil b, der auf jener Seite der Scheidewand bleibt, und in einen Theil β, der die Wand durchdringt. So hat man zu Anfange:

$$A = a + \alpha \text{ und } B = b + \beta$$

Zu Ende der Diffusion:

$$X = a + \beta \text{ und } Y = b + \alpha$$

*) Poggend. Ann. Bd. XXVIII. S. 347.

Offenbar wird die Diffusion nicht eher vollendet sein bis:

$$\frac{a}{X} = \frac{\alpha}{X} = \frac{A}{A + B} \text{ und } \frac{\beta}{X} = \frac{b}{Y} = \frac{B}{A + B}.$$

Ferner muß dem Graham'schen Gesetze zufolge, $\alpha : \beta = \sqrt{\delta} : 1$ sein, wenn das specifische Gewicht von $A = 1$ und von $B = \delta$ ist.

Man hat also zur Bestimmung von $X, Y, a, b, \alpha, \beta$ folgende sechs Gleichungen:

$$X + Y = A + B \text{ (1)}; \quad \frac{\beta}{X} = \frac{b}{Y} = \frac{B}{A + B} \text{ (3) u. (4)}$$

$$\alpha = \beta \sqrt{\delta} \text{ (2)}; \quad \frac{\alpha}{Y} = \frac{a}{X} = \frac{A}{A + B} \text{ (5) u. (6)}$$

Aus (3) bis (6) ergiebt sich:

$$\beta = X . \frac{B}{A + B}; \quad \alpha = Y . \frac{A}{A + B} \quad (7)$$

$$a = X . \frac{A}{A + B}; \quad b = Y . \frac{B}{A + B} \quad (8)$$

Aus (2) und (7):

$$X B \sqrt{\delta} = Y A \text{ oder } \frac{X}{Y} = \frac{A}{B \sqrt{\delta}} \quad (9)$$

und daraus mittelst (1)

$$X = \frac{A (A + B)}{A + B \sqrt{\delta}}; \quad Y = \frac{B (A + B) \sqrt{\delta}}{A + B \sqrt{\delta}} \quad (10)$$

Endlich aus (10) mittelst (7) und (8)

$$\left.\begin{array}{l} \beta = \dfrac{A B}{A + B \sqrt{\delta}}; \quad \alpha = \dfrac{A B \sqrt{\delta}}{A + B \sqrt{\delta}} \\ a = \dfrac{A A}{A + B \sqrt{\delta}}; \quad b = \dfrac{B B \sqrt{\delta}}{A + B \sqrt{\delta}} \end{array}\right\} \quad (11)$$

Nimmt das eine Gas einen unendlich großen Raum ein, was der Fall sein wird, wenn die Diffusionsröhre von der freien Atmosphäre umgeben ist, so giebt, wenn man z. B. $A = \infty$ nimmt, die Gleichung (10):

$$Y = B \sqrt{\delta}$$

was eben der einfache Ausdruck des Graham'schen Gesetzes ist; b wird $= 0$, $\beta = B$, $\alpha = B \sqrt{\delta} = Y$; und nach den Formeln (11) $a = \infty$, wie auch an sich begreiflich ist. Um den Fall zu berechnen, wo ursprünglich auf beiden Seiten der Scheidewand ein Gemenge von zwei oder mehreren Gasen sich befindet, reicht das Graham'sche Gesetz nicht aus; denn wenn es sich um mehr als zwei Gase handelt, so ist die Schnelligkeit der Diffusion ein Element, welches bekannt sein muß. Treten z. B. die Volume α' und α'' von der Linken zur Rechten durch die

Scheidewand und in derselben Zeit von der Rechten zur Linken die Volume β' und β'', so giebt das Graham'sche Gesetz zwar die Verhältnisse $\alpha':\beta'$ und $\alpha'':\beta''$, aber nicht $\alpha':\alpha''$, welches ein ganz anderes Gesetz zu befolgen scheint.

Ein bemerkenswerther Umstand bei der Diffusion ist noch der, daß sie bei einigen Gasen schneller von Statten geht als bei andern. So entweichen Wasserstoff und Kohlenwasserstoff schneller als Chlor, Kohlensäure und Kohlenoxyd. Graham fand z. B. die während gleicher Zeiten in die Diffusionsröhre eingedrungenen Luftmengen beim:

Chlor .	= 0,302	Volumen
Kohlensäure	= 0,623	„
Wasserstoff	= 1,277	„

Hätte bei diesen Gasen die Diffusion gleichen Gang genommen, so würden die in gleichen Zeiten eingedrungenen Luftmengen ungeachtet der ungleichen ausgetretenen Gasvolume gleich groß gewesen sein.

Im Allgemeinen zeigte sich die Geschwindigkeit um so größer, je specifisch leichter das Gas war.

Zum Schlusse sei es gestattet, noch einige Worte Poggendorff's *) über die Graham'sche Arbeit anzuführen.

Poggendorff sagt: Das Graham'sche Gesetz erinnert so sehr an das Gesetz des Ausströmens der Gase aus nicht capillaren Oeffnungen (wo auch caeteris paribus die ausgeströmten Mengen sich umgekehrt, wie die Quadratwurzel aus den Dichten der Gase verhalten), daß man wohl vermuthen darf, die Dichte der Gase sei nicht der einzige Factor, welcher Einfluß auf die Diffusion ausübt. Schon aus der frühern Untersuchung Graham's geht hervor, daß die Geschwindigkeit der Diffusion zwischen zwei Gasen keine constante ist, möglich also auch, daß Umstände eintreten, wo die Geschwindigkeit des Durchganges bei dem einen Gase in einem andern Verhältnisse geändert wird, als bei dem zweiten. Vielleicht findet etwas diesem Aehnliches statt, wenn Gasgemenge durch eine poröse Scheidewand dringen. Jedenfalls wäre es schon interessant zu wissen, ob bei Versuchen mit zwei Gasen, entweder einem eingeschlossenen und einem unbegrenzten, oder zwei eingeschlossenen, das Verhältniß der durch die Scheidewand dringenden Antheile fortwährend im ganzen Laufe der Diffusion den constanten, von dem Graham'schen Gesetze geforderten Werth besitzen.

T. S. Thomson hat zu zeigen versucht **), daß das Gesetz, nach welchem das Ausströmen der Gase in den luftleeren Raum geschieht, auch für die Diffusion der Gase seine Geltung habe. Nach der Dalton'schen Ansicht verhalten sich die Theilchen des einen Gases passiv gegen die Theilchen eines andern Gases. Sind nun zwei verschiedene Gase durch eine poröse Scheidewand von einander getrennt, so sucht jedes in den Raum des andern einzudringen, so als ob der letztere leer wäre. Seien nun die Geschwindigkeiten des Einströmens in das Vacuum e und e', die Dichtigkeiten der beiden Gase resp. d und d', so hat man, da die Geschwindigkeiten, womit verschiedene Gase durch eine enge Oeffnung strömen, im umgekehrten

*) Phil. Magaz. Ser. III. Vol IV. p. 321. Poggend. Ann. Bd. XXVIII. S. 351.
**) Poggend. Ann. Bd. XXXIV. S. 628.

Verhältniß mit den Quadratwurzeln aus den Dichten der Gase stehen, $e : é = \sqrt{d'} : \sqrt{d}$ oder $e^2 d = é^2 d'$ (1). Bezeichnen aber v und v′ die Volume und m und m′ die Massen, so hat man auch $v d = e d = m$ u. $v' d' = e' d' = m'$. Hieraus folgt dann mit Rücksicht auf die Gleichung (1): $e m = e' m'$. Für beide Gase sind demnach die Producte aus den Massen in die Geschwindigkeiten oder die bewegenden Kräfte gleich.

Ein Gypsstöpsel oder überhaupt eine poröse Substanz stellt ein System von Oeffnungen dar, durch welche die Gase zu dringen suchen. Wenn wir nun auch nicht sicher wissen, wie die entgegengesetzten Gasströme auf einander wirken, so liegt doch soviel klar vor, daß ein gewisser Widerstand und in Folge dessen eine Verzögerung in der Geschwindigkeit beider Gase stattfinden wird. Da auf Grund des Princips der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung die Größe der verlornen Bewegung beiderseits gleich groß sein muß, so werden die resultirenden Momente der Ströme gleich sein und deshalb auch die Geschwindigkeiten im umgekehrten Verhältniß mit den Quadratwurzeln aus den Dichten stehen.

Um zu zeigen, daß die bewegende Kraft im Verlaufe des Versuches dieselbe bleibe und daß also die schließlich ausgetauschten Gasvolume den Anfangsgeschwindigkeiten proportional seien, betrachtet Thomson den besonderen Fall, wo Wasserstoff sich aus dem Apparate in die Atmosphäre verbreitet. Die zu einer gewissen Zeit nach begonnener Diffusion zurückgebliebene Wasserstoffmenge sei durch h, die eingedrungene Luftmenge durch a bezeichnet. Nun steht das Gasgemenge, weil das Wasser außerhalb des Apparates mit dem Sperrwasser innerhalb desselben fortwährend in gleichem Niveau erhalten wird, unter dem Drucke der atmosphärischen Luft. Nimmt man den letzteren zur Einheit, so ist das Volumen des Gasgemenges $= a + h$, während die Spannkraft des Wasserstoffes im Apparate durch $\frac{h}{a+h}$ und die der Luft durch $\frac{a}{a+h}$ ausgedrückt werden kann. Das Streben des Wasserstoffes, sich auszubreiten, oder seine Elasticität ist also proportional $\frac{h}{a+h}$, die antreibende Kraft der atmosphärischen Luft aber, vermöge deren dieselbe in den Apparat einzudringen sucht, ist proportional $1 - \frac{a}{a+h} = \frac{h}{a+h}$, d. h. proportional dem Ueberschusse des äußeren Druckes über die Spannkraft der inneren Luft.

Man erkennt also, daß, da a und h unbestimmt sind, in jedem Zeitpunkte die antreibende Kraft des Wasserstoffes gleich ist der eintreibenden Kraft der Luft. Weil nun die Größe der verlorenen Bewegung beiderseits gleich groß ist, so läßt sich hieraus leicht schließen, daß die am Ende ausgetauschten Gasvolume im umgekehrten Verhältniß mit den Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten stehen müssen. Aus der allmäligen Abnahme der Elasticität folgt aber auch eine entsprechende Abnahme der Geschwindigkeit, womit die Expansion von Statten geht.

Thomson glaubt, daß die Abweichung der Graham'schen Resultate vom angeführten Ausflußgesetze der Gase in den leeren Raum nur in der Fehlerhaftigkeit der Versuche ihren Grund habe.

Wir gehen nun zur Erörterung des letzten Falls über, der die Diffusion der Flüssigkeiten bei unmittelbarer Berührung derselben und bei Abwesenheit aller porösen Scheidewände behandelt. Dieser Fall ist erst neuerdings von Graham *) in einer ausführlichen Arbeit behandelt worden.

Graham geht von dem anerkannten Grundsatz aus, daß jedes Salz oder überhaupt jede lösliche Substanz im aufgelösten Zustande ganz gleichförmig in der Masse des auflösenden Mittels vertheilt ist, und fragt nun, ob man sich diese Verbreitung der gelösten Substanz im Lösungsmittel auf dieselbe Weise zu denken habe, wie die Diffusion bei Gasen. Als Grund dafür, daß man diese Frage noch nicht bündig habe beantworten können, giebt er an, daß man die Diffusion der Flüssigkeiten bis jetzt nur in dem speciellen Falle der Endosmose untersucht habe, wo die Erscheinung durch das Aufsaugungsvermögen der Membran, welches für jede Flüssigkeit ein anderes sei, undeutlich gemacht werde. In Bezug auf die Löslichkeit einer Substanz machte er darauf aufmerksam, daß man gewöhnlich blos die Quantität der gelösten Substanz in Betracht ziehe, nicht aber die Kraft, mit der sie vom Lösungsmittel festgehalten werde, die aber bei sonst gleich löslichen Substanzen sehr verschieden sein könne. Indem dann Graham zur Auseinandersetzung seiner Versuche und der daraus gezogenen Resultate vorschreitet, erwähnt er noch eines vorbereitenden Versuchs über die Diffusion der Kohlensäure in Wasser. Er stellte zwei Flaschen, die gut auf einander schlossen, mit ihren Mündungen auf einander. Die untere enthielt eine gesättigte Lösung von Kohlensäure in Wasser, die obere destillirtes Wasser. Er erwartete nun, daß nach kurzer Zeit die Kohlensäure sich gleichmäßig in beiden Flaschen verbreitet haben würde. Als er nach Ablauf von 48 Stunden den Kohlensäuregehalt beider Flaschen bestimmte, verhielt sich die Menge der Kohlensäure in der obern zu der in der untern wie 1,18 zu 12,80. Bei einem andern Versuche, bei dem die Diffusion erst nach 5 Tagen unterbrochen wurde, war das Verhältniß wie 1,63 zu 8,44. Wenn das Wasser der obern Flasche mit Stickoxyd gesättigt war, ging die Diffusion fast eben so von Statten wie im destillirten Wasser.

Alle folgenden Diffusionsversuche stellte Graham so an, daß eine Flasche mit der auf ihre Diffusion zu prüfenden Lösung angefüllt und in ein größeres Glasgefäß gestellt wurde, welches er dann mit Wasser so weit füllte, bis das Niveau des Wassers einen Zoll hoch über der Mündung der Flasche stand.

Er untersuchte nun zunächst mehrere Salze und Säuren, die so mit Wasser verdünnt waren, daß sie das specifische Gewicht 1,200 hatten, ausgenommen Chlorkaliumlösung, welcher das specifische Gewicht 1,178 zugehörte.

---

*) Philosoph. Transact. 1850. p. 1. Philos. Magaz. [3] T. XXVII. pp. 181, 254, 341. Annal. de Chim. et de Phys. tom. XXIX. p. 197. Liebig und Kopp, Fortschritte. 1850. S. 15.

Die Versuche waren bei 66° Fahrenheit (+ 19° C.) angestellt und die Diffusion wurde nach 27 Tagen unterbrochen.

Angewendete Substanzen	Quantität des wasserfreien Salzes oder des Protohydrats der Säure auf 100 Wasser	Siedepunkt Fahrenheit	Ins Wasser diffundirt (in Grains)
Kochsalz	34,21	222,5	269,80
Salpetersäure (verdünnt) .	37,93	227,0	581,20
Schwefelsäure (verdünnt) .	29,03	233,0	455,10
Chlorkalium	34,86	221,0	320,30
Saures schwefelsaures Kali .	31,58	216,0	319.00
Salpetersaures Natron . .	32,82	220,0	260,20
Schwefelsaure Magnesia . .	22,38	214,0	95,87
Schwefelsaures Kupfer . .	21,56	213,5	77,47

Graham glaubt in diesen Resultaten einen Zusammenhang zwischen starker Diffusion und einem hohen Siedepunkte zu finden.

Graham stellte dann Versuche mit verschieden concentrirten Kochsalzlösungen bei verschiedenen Temperaturen an.

Salz auf 100 Wasser	Diffusion in Grains bei:		
	39°,6 F. (+ 4° C.)	52°,5 F. (+ 11°,5 C.)	67° F. (19°,5 C.)
1.	2,63	2,78	3,50
2.	5,27	5,54	6,89
3.	7,69	8,37	9,90
4.	10,00	11,11	13,60

Die Diffusion scheint also zuzunehmen mit der Quantität des aufgelösten Salzes und mit der Temperatur.

Auch ergiebt sich aus einem ähnlichen Versuche, daß der Gang der Diffusion ein gleichmäßiger ist, d. h. daß am zweiten Tage so viel diffundirt wie am ersten 2c.

Hierauf prüfte er Lösungen, die alle 20 Procent Salz oder Säure enthielten. Der Versuch dauerte acht Tage.

Angewendete Substanz	Specifisches Gewicht bei 60° F.	Diffundirte Menge in Grains
Chlornatrium	1,126	58,68
Schwefelsaure Magnesia	1,185	27,42
Salpetersaures Natron	1,120	51,56

Angewendete Substanz	Specifisches Gewicht bei 60° F.	Diffundirte Menge in Grains
Verdünnte Schwefelsäure	1,108	69,32
Krystallis. Rohrzucker	1,070	26,74
Geschmolz.	1,066	26,21
Stärkezucker	1,061	26,94
Melasse von Rohrzucker	1,069	32,55
Gummi Arabicum	1,060	13,24
Eiweiß	1,053	3,08

Eine andere Reihe von Salzen wurde angewendet, indem auf 10 Wasser 1 Salz zugefügt wurde. Der Versuch dauerte acht Tage.

Angewendete Substanz	Spec. Gew. bei 60° F.	Diffundirt in Gr. bei 59° F.	Diffundirt in Gr. bei 37° F.
Chlornatrium	1,0668	32,25	22,47
Salpetersaures Natron	1,0622	30,70	22,79
Chlorkalium	1,0596	40,15	
Chlorammonium . .	1,0280	40,20	31,14
Salpetersaures Kali .	1,0589	35,55	28,70
Salpetersaures Ammon.	1,0382	35,30	29,19
Jodkalium	1,0673	37,70	28,10
Chlorbarium	1,0858	27,00	21,40
Schwefelsäure	1,0576	36,85	29,85
Schwefelsaure Magnesia	1,0965	15,45	13,70
Schwefelsaures Zinkoxyd	1,0984	15,80	12,60

Ueberraschend ist die gleiche Diffusion bei einer Anzahl Salze, z. B. beim Chlorkalium und Chlorammonium.

Darauf untersuchte Graham Säuren. Er wendete 4 Th. wasserfreie Säure auf 100 Th. Wasser an; der Versuch dauerte 8 Tage.

Angewendete Säure	Dichtigkeit bei 60° F.	Diffundirte Menge in Grains
Salpetersäure	1,0243	28,70
Salzsäure	1,0225	34,10
Schwefelsäure	1,0317	18,48
Essigsäure	1,0091	18,16
Oxalsäure	1,0235	12,38
Arsenige Säure	1,0320	12,16
Weinsäure	1,0194	9,79
Phosphorsäure	1,0284	9,09
Chlornatrium	1,0285	12,32

Auch hier scheinen gewisse Säuren gleich zu diffundiren.

Dann ließ Graham Doppelsalze von Kupfer und Ammoniak diffundiren und zwar nahm er 4 Theile wasserfreien Salzes auf 100 Wasser, theilte die Lösung in zwei Hälften und fügte zu der einen Ammoniak im geringen Ueberschusse.

Angewendete Salze	Dichtigkeit bei 64° F.	Diffundirte Menge in Grains
Schwefelsaur. Ammoniak	1,0235	12,13
Schwefelsaur. Kupferoxyd	1,0369	6,19
Schwefels. Kupf.-Ammon. . . .	1,0308	1,45
Salpeters. Ammoniak	1,0136	16,15
Salpeters. Kupferoxyd	1,0323	9,77
Salpeters. Kupf.-Ammon.. . . .	1,0228	1,36
Chlorammonium	1,0100	16,18
Kupferchlorid	1,0328	10,83
Ammoniumkupferchlorid	1,0209	3,94

Es springt in die Augen, daß die obigen Doppelsalze bedeutend langsamer diffundiren als die betreffenden einfachen Salze.

Wenn man zwei Salze, ohne daß sie sich verbinden, mischt, so diffundiren sie beide unabhängig von einander. Das weniger lösliche Salz scheint aber dann in allen Fällen eine Verringerung seiner Diffusibilität zu erleiden.

Graham glaubt die verschiedene Diffusibilität gewisser Salze mit verschiedenen Basen benutzen zu können, um aus Mischungen dieser Salze die einzelnen Salze ausscheiden zu können, wenigstens so, daß die eine Flüssigkeit relativ ärmer, die andere relativ reicher an dem einen Salze werde. Es gelang ihm dies bei einem Gemenge gleicher Theile kohlensauren Natrons und Kalis, die in ihrem fünffachen Gewichte Wassers aufgelöst waren.

Der Versuch dauerte 19 Tage bei 60° F. (= 12°,5 C.)

Er fand dann in dem Wasserreservoir

Kohlensaures Natron = 36,37
" Kali = 63,63

100,00

Bei einem 25tägigen Versuche fand er

Kohlensaures Natron = 35,2
" Kali = 64,8

Aehnliche Resultate fand er, als er Meerwasser diffundiren ließ.

Graham meint, daß man auf diese Weise die Differenzen erklären könne, die sich in den Analysen des Wassers des todten Meeres zeigten, indem in die 10 — 12 Fuß hohe Schicht süßen Wassers, die sich während der Regenzeit darüber legte, die verschiedenen Salze erst nach und nach und mit verschiedener Geschwindigkeit diffundirten.

Aber nicht nur Trennung verschiedener Salze wird bewirkt durch die Diffusion ihrer Gemenge, sondern es kann ein Salz durch die Diffusion sogar chemisch zerlegt werden.

So zeigte sich z. B. bei einem Versuche mit einer bei 20° gesättigten Lösung zweifach schwefelsauren Kalis, daß ein Theil des Salzes zerlegt worden war. Als nämlich die Diffusion 50 Tage gedauert hatte, zeigten sich im äußern Wasser,

Zweifachschwefelsaures Kali = 31,84
Schwefelsäure = 12,77

Ebenso wurde auch Alaunlösung zerlegt und es fand sich im äußern Wasserreservoir neben diffundirtem Alaun auch schwefelsaures Kali.

Untersuchungen über die Diffusion von Doppelsalzen führten zu dem Resultate, daß die Diffusion eines Doppelsalzes gleich ist der Summe der Diffusionen der beiden Salze, die das Doppelsalz bilden. So fand er z. B. für schwefelsaures Magnesia-Kali eine diffundirte Menge = 7,95 Grains, für das schwefelsaure Kali = 5,78, für die schwefelsaure Magnesia = 2,20, was zusammen giebt 7,98, eine Größe, die nahe gleich ist der diffundirten Menge des Doppelsalzes.

Graham ließ dann Salze in die Lösungen anderer Salze diffundiren. Er ließ z. B. kohlensaures Natron diffundiren in Wasser, Chlornatrium und schwefelsaures Natron, und fand, daß die Diffusion desselben in Chlornatrium ebenso vor sich ging wie im Wasser, daß sie hingegen im schwefelsauren Natron eine kleine Verminderung erlitt. Ebenso diffundirte salpetersaures Kali ungehindert in salpetersaures Ammoniak.

Hierauf wurden genauere Versuche über eine größere Zahl Kali- und Ammoniaksalze angestellt und gefunden, daß sie sich in zwei Gruppen von gleicher Diffusion theilen lassen. Die Diffusion blieb acht Tage im Gange und fand bei einer Temperatur statt, die zwischen 64° und 66° F. schwankte. Er wandte alle Lösungen in verschiedenen Concentrationsgraden an, nämlich 4, 2 und 1 wasserfreies Salz auf 100 Wasser. Die erste Gruppe ist in folgender Tabelle zusammengestellt.

	Diffusion bei 4 Salz : 100 Wasser	Diffusion bei 2 Salz : 100 Wasser	Diffusion bei 1 Salz zu 100 Waff.
Kohlensaures Kali . . .	10,27	5,45	2,63
Schwefelsaures Kali . . .	10,57	5,52	2,69
Schwefelf. Ammoniak . .	10,51	5,58	.
Essigsaures Kali	10,70	5,85	2,68
Doppelt kohlens. Kali . . .	11,01	5,81	2,81
Chroms. Kali .	11,19	5,77	2,83
Doppelt chroms. Kali . . .	11,49	5,65	2,88

Hieran scheinen sich noch Kaliumeisencyanid und Kaliumeisencyanür zu reihen. Als er diese aus einer 1procentigen Lösung bei 54° F. diffundiren ließ, ergab sich folgendes:

Schwefelsaures Kali = 2,57 Grains
Kaliumeisencyanür = 2,56 „
Kaliumeisencyanid = 2,75 „

Die zweite Gruppe ist in folgender Tabelle zusammengestellt.

	4	2	1
Salpetersaures Kali	13,97	7,47	3,72
Salpetersaures Ammoniak . . .	14,48	7,73	3,75
Chlorkalium	15,01	7,70	3,88
Chlorammonium	14,41	7 81	3,89
Chlorsaures Kali	13,31	7,22	3,66

Aus allen angeführten Versuchen erhellt, daß die Diffusion bei gewissen Salzen schneller vor sich geht als bei andern. Es wird daher nothwendig, die Diffusion auch als Function der Zeit zu betrachten. Bei der Diffusion der Gase sind die zur gegenseitigen Durchdringung gleicher Volume nöthigen Zeiten proportional den Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten dieser Gase. Vielleicht läßt sich auch für die Quadrate der Zeiten gleicher Diffusion bei Flüssigkeiten eine einfache Relation finden. Und in der That hat es sich bei den zu diesem Zweck angestellten Versuchen ergeben, daß eine solche existirt. Die Dichtigkeiten des salpetersauren und kohlensauren Kalis verhalten sich wie 1 : 2, und die Quadratwurzeln ihrer Dichtigkeiten wie 1 : 1,4142. Ließ man nun das erste 7 Tage diffundiren, das zweite 9,9 Tage (Zeiten, die sich verhalten wie $\sqrt{1} : \sqrt{2} = 1 : 1,4142$), so erhielt man:

Salpetersaures Kali = 13,81 Grains 100,0
Kohlensaures Kali = 13,92 „ 100,8

Die Abweichung von der völligen Uebereinstimmung fällt in die Beobachtungsfehler.

Es ergab sich, daß in allen Zeiten, die im Verhältniß von $1 : \sqrt{2}$ stehen, beide Salze gleich diffundirten. Bei der Vergleichung der Kalilösung mit diesen beiden Salzen, nämlich mit dem salpetersauren Kali und kohlensauren Kali, fand sich, daß die Quadrate der Zeiten gleicher Diffusion sich verhielten wie 1 : 2 : 4.

Das kohlensaure und schwefelsaure Natron können als gleich schnell diffundirend angenommen werden. Denn Graham fand z. B. für 1procentige Lösungen derselben folgendes:

Kohlensaures Natron = 2,32 Grains
Schwefelsaures „ = 2,38 „

Als er das salpetersaure mit dem kohlensauren verglich, ergab sich ganz dasselbe Verhältniß wie bei den entsprechenden Kalisalzen, denn es diffundirte aus einer 2procentigen Lösung:

Salpetersaures Natron in 7 Tagen = 11,73 Grains
Kohlensaures „ in 9,9 „ = 11,62 „

Dasselbe Verhältniß stellte sich bei Lösungen von anderer Concentration heraus. Die Differenzen fielen innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler.

Graham geht dann zu einer Vergleichung der Kali- und Natronsalze über und behauptet, daß bei ihnen die Zeiten gleicher Diffusion sich verhalten müßten wie $\sqrt{2} : \sqrt{3}$.

Als er nun Versuche so arrangirte, daß die Zeiten sich wie $\sqrt{2} : \sqrt{3}$ verhielten, ergaben sich folgende Resultate.

	Temperat. F.	Dauer in Tagen	Quadrate der Zeiten	Mittel der diffundirten Mengen aus 4 Versuchen
Salpetersaures Kali .	56,1	7,000	2	6,75
„ Natron	57,1	8,570	3	6,78
Schwefelsaures Kali .	55,4	9,900	4	6,78
„ Natron	55,4	12,125	6	6,72
Kohlensaures Kali .	55,4	9,900	4	6,56
„ Natron .	55,4	12,125	6	6,54

Die beiden salpetersauren und schwefelsauren Salze geben sehr übereinstimmende Resultate; die beiden kohlensauren weichen etwas ab, aber stimmen unter sich recht gut.

Graham verglich noch in mehreren Versuchen die Diffusibilität der schwefelsauren Magnesia mit der des schwefelsauren Kali und fand, daß sich bei ihnen die Zeiten gleicher Diffusion verhalten wie $1 : \sqrt{4} = 1 : 2$.

Zum Schlusse dieser Arbeit stellt Graham nachstehende Folgerungen auf:

1) Die Diffusibilität einer Flüssigkeit sei eine Fundamentaleigenschaft derselben; so wie z. B. die Flüchtigkeit einer Substanz.
2) Die Diffusibilität sei neben die Dichtigkeit der Flüssigkeiten zu stellen, da ihr Verhältniß bei verschiedenen Substanzen wohl vom absoluten, nicht aber vom Atomgewicht abhinge.
3) Die Körper lassen sich in Gruppen von gleicher Diffusibilität abtheilen; die Grenzen derselben fallen nicht mit denen der Isomorphie zusammen.
4) Die Diffusibilität theilt auf der einen Seite die Kali- und Natronsalze, auf der andern die schwefelsauren und salpetersauren Salze in Gruppen.
5) Durch Diffusion lassen sich Salzgemenge trennen.
6) Diffusion kann Salze chemisch zerlegen.
7) Die Kenntniß der Diffusibilität der Salze kommt den Untersuchungen über Endosmose zu Hülfe, indem, wenn erstere bekannt ist, der Einfluß der Membran leichter ermittelt werden kann. Weiske.

Digestion (v. d. latein. Digestio), ein Proceß, wobei irgend eine feste gepulverte oder zerschnittene Substanz mit einer Flüssigkeit übergossen und in einem verschlossenen Gefäße eine Zeit lang einer Temperatur zwischen + 30° und dem Siedepunkt der Flüssigkeit, ausgesetzt wird. Der Zweck der Digestion ist, die in der Flüssigkeit löslichen Bestandtheile der Substanz auszuziehen. Man gewinnt auf diese Weise Tincturen, Elixire; und wendet diesen Proceß auch häufig in der analytischen Chemie zur Trennung verschiedener Körper von einander an.

Digestor (Digester) oder Papinischer Topf (Marmite de Papin, olla papiniana), ist ein kleiner, leicht zu öffnender und dampfdicht zu schließender Hochdruckdampfkessel mit Sicherheitsventil, in welchem die Erhitzung einer Flüssigkeit unter höherem Drucke, als dem der Atmosphäre, bewirkt wird, um für verschiedene chemisch-technische Operationen die Digestion, Extraction oder Auflösung*) gewisser Stoffe unter möglichst günstigen Umständen zu bewirken. Sowohl der größere Druck als auch die größere Hitze befördern die Einwirkung einer Flüssigkeit auf vegetabilische und thierische Substanzen, weshalb der Digestor in kleineren Dimensionen als Kochapparat, bei organischen Analysen**) &c. dient, und in größeren Dimensionen mit der Benennung Schließkessel zu Operationen in der Färberei &c. benutzt wird.

Das Princip des Digestors beruht auf folgenden physikalischen Gesetzen***). Die Siedetemperatur einer Flüssigkeit ist diejenige Temperatur, bei welcher der, in der Flüssigkeit entwickelte Dampf (dessen Spannkraft und Dichte mit der Temperatur wächst)****) eine so hohe Spannung erreicht, daß er sowohl den Druck der auf ihm lastenden Flüssigkeitssäule, als auch den Druck überwinden kann, welcher auf die Flüssigkeit selbst einwirkt. Bei offenen Gefäßen ist der letztere Druck unter gewöhnlichen Verhältnissen der Atmosphärendruck*****). Demnach tritt die Dampfentwickelung (Sieden oder Kochen) am Meeresspiegel unter dem Normaldruck von 760 Millim. Quecksilbersäule, bei 100° C. ein, während z. B. in Quito (2908 Meter über der Meeresfläche) das Wasser schon bei 90,1° C. kocht, einem Barometerstand von 527 Millimeter entsprechend †). Diese Temperatur ist zum Kochen mancher Substanzen schon zu niedrig, und da überhaupt das siedende Wasser an jedem Ort der Erde und in jeder Höhe verschieden warm ist, so ist es zu bestimmten Zwecken nicht überall gleich tauglich. Vermehrt man den Druck auf die Flüssigkeit durch künstliche Mittel, so erhöht sich die Siedetemperatur, indem das Kochen verzögert und sogar ganz verhindert wird, wenn man den Druck stark genug macht. Auf die einfachste Weise erreicht man diesen Zweck, wenn man ein luftdicht verschlossenes Gefäß anwendet, welches theilweise mit Flüssigkeit gefüllt und sodann erhitzt wird. Der sich entwickelnde Dampf sammelt sich über dem Niveau der Flüssigkeit und übt auf diese einen, seiner Temperatur entsprechenden Druck aus. Je mehr die Flüssigkeit erhitzt wird, desto

---

*) Siehe d. Art. Auflösung (Bd. I. S. 368) und Lösung.
**) Siehe d. Art. Analyse. Bd. I. S. 154.
***) Siehe d. Art. Dampf. Bd. II. S. 22.
****) Siehe d. Art. Dampfmaschine. Cap. II. §. 19 und 20. S. 285 ff.
*****) Siehe d. Art. Atmosphäre. Bd. I. S. 452 ff.
†) Siehe d. Art. Dampf. Bd. II. S. 42. Ferner Höhenmessen und Temperatur.

mehr entwickelt sich Dampf. Da dieser aber nicht entweichen kann, so steigt seine Spannkraft, folglich auch der Druck auf die Flüssigkeit fortwährend, die Siedetemperatur erhöht sich mehr und mehr und dem Siedeproceß kann auf diese Weise jede beliebige Grenze gesetzt werden. Man bestimmt diese Grenze einestheils dadurch, daß man ein Thermometer in den geschlossenen Kesselraum einsenkt, anderntheils durch ein Sicherheitsventil *), welches man so stark belastet, daß es sich erst hebt, wenn die Maximalspannung eingetreten ist. Sobald das Ventil sich öffnet oder sobald man den Verschluß des Kessels aufhebt, strömt der Dampf mit großer Geschwindigkeit aus und es erfolgt die Umwandlung einer so großen Quantität Wasser in Dampf, als in einem offenen Gefäß während der vorausgegangenen Erhitzung in Dampfgestalt entwichen sein würde. Die Schnelligkeit, mit welcher diese Umwandlung erfolgt und die expansive Natur des Dampfes machen diese Umwandlung zu einer Explosion **), wenn man den Deckel zu plötzlich abhebt, oder wenn das Gefäß dem inneren Dampfdruck keinen Widerstand mehr zu leisten vermag. Gleichzeitig mit dem Entweichen des Dampfes sinkt die Temperatur des Wassers, weil diesem die zu der heftigen Dampfbildung nöthige Wärmemenge entnommen wird. Ist z. B. das Wasser im geschlossenen Kessel bis zu 215° C. (20 Atmosphären Druck) erhitzt worden und man hebt nun plötzlich den Deckel ab, so nimmt nicht nur der, bereits im Innern vorhandene Dampf sogleich ein 15 Mal größeres Volumen ein, sondern es verwandelt sich auch über $^1/_5$ des Wassers in Dampf und das zurückbleibende Wasser sinkt in demselben Augenblick auf 100° herab ***). Man beobachtet jedoch eine Erhöhung des Siedepunktes und mithin eine steigende Dampfspannung, wenn die im Kessel angebrachte Oeffnung nicht so groß ist, daß der Dampf ebenso schnell, als er bei dem bestehenden Druck entwickelt wird, auch entweichen kann. Durch die Oeffnung kann nämlich nur dann aller Dampf ausströmen, welcher durch die in jedem Moment in die Flüssigkeit übergehende Wärme erzeugt wird, wenn durch die wachsende Dampfspannung auch eine größere Ausströmungsgeschwindigkeit bewirkt wird ****). Daraus folgt die Nothwendigkeit einer bestimmten Querschnittsgröße des Sicherheitsventiles an Dampfkesseln. Endlich schloß Magnus aus seinen Beobachtungen *****), daß die Spannung, welche zur Erzeugung des Dampfes erfordert wird, größer ist, als die Spannkraft, welche der Dampf zu seinem Bestehen nöthig hat, und daß folglich die Flüssigkeit beim Sieden, wo die Dampfbildung vom Boden ausgeht, eine höhere Temperatur besitzt, als der sich entwickelnde Dampf.

Der Zweck des Digestors kann nun ein doppelter sein, je nachdem man den im Innern entstehenden hohen Dampfdruck als Mittel, oder als Zweck betrachtet. Er dient als Mittel zur Erhöhung der Temperatur einer Flüssigkeit (gewöhnlich Wasser), sofern der Apparat auf dem Grundsatze beruht, daß die Temperatur dieser Flüssigkeit ins Unbestimmte wachsen kann, wenn den Dämpfen jeder Ausweg verschlossen ist. Es ist jedoch noch der andere Fall möglich, daß bei irgend einer

---

*) Siehe d. Art. Dampfmaschine. Cap. III. §. 30. S. 341.

**) Siehe d. Art. Explosion. Bd. III.

***) Siehe d. Art. Dampf, latente Wärme. S. 52.

****) Siehe die Formeln im Art. Dampfmaschine. Cap. I. §. 2. S. 244 u. 245.

*****) Poggend. Ann. Bd. LXI. S. 236—248. Art. Dampf. Bd. I. S. 23.

festgestellten Temperatur nur der Druck beliebig vermehrt werde. Auf dieses Princip hat zuerst Prechtl aufmerksam gemacht und darnach einen Apparat construirt, den er den hydrostatischen Digestor nennt *), den wir aber, wegen seines Gegensatzes zum Wärmedigestor, lieber Druckdigestor nennen möchten. Letzterer ist für viele Fälle noch einer ausgebreiteteren Anwendung fähig, als der erstere. Denn die Auflösung wird hauptsächlich durch den Druck bewirkt **), die höhere Temperatur ist in vielen Fällen theils von geringerem Einfluß, theils wirkt sie sogar nachtheilig durch eine Zersetzung oder Veränderung des zu digerirenden Körpers.

Die Bedingungen, welche ein zu beiderlei Zwecken construirter Digestor zu erfüllen hat, sind im Allgemeinen dieselben, wie bei dem Dampfkessel ***). Diese sind: erforderliche Größe für den beabsichtigten Zweck, geeignetes Material mit zweckmäßiger Form, hinlängliche Stärke der Gefäßwände, Sicherung vor Explosion, zweckmäßige Armatur und dampfdichter Verschluß. Das Material besteht am Besten aus geschlagenem Kupfer, das bei Kochapparaten inwendig stark zu verzinnen ist. Für gewöhnliche Zwecke ist Eisenblech hinreichend, das man ebenfalls innerlich verzinnt. Gußeisen ist nur für Digestoren von kleinen Dimensionen rathsam. Dasselbe kann zwar durch Glasiren vor Auflösung geschützt werden, bekommt aber ebenso wie die Glasur, durch schnellen Temperaturwechsel leicht Sprünge ****). Dagegen kann es zum Deckel des Gefäßes in allen Fällen verwendet werden. Die Form des Digestors ist gewöhnlich die cylindrische. Bei starkem Druck giebt man dem Boden eine sphärische Gestalt und wendet einen gewölbten Deckel an, um eine größere Widerstandsfähigkeit zu erzielen *****). Diese Ausbauchungen sind aber nur bei Eisenblech oder schwachen Kupferwänden nöthig, bei hinreichender Stärke genügt ein flacher Boden und Deckel. Die Stärke wird, je nach dem Material, nach denselben Gesetzen bestimmt, wie die Stärke der Dampfkessel †), indem man den größten Durchmesser, den das Gefäß in irgend einem Querschnitte hat, dabei zu Grunde legt. Muncke ††) gab gewöhnlich seinen kleinen Digestoren aus Kupferblech mit cylindrischer Form eine Wandstärke von 1 Linie (2 bis 3 Millim.), umgab den Digestor mit eisernen Reifen von $^1/_4$ bis $^1/_2$ Zoll Stärke und $^3/_4$ Zoll Breite und schloß ihn durch einen Messingdeckel von $2^1/_2$ Linien Dicke. Die Armatur des Digestors besteht gewöhnlich nur aus einem Sicherheitsventil mit gehöriger Weite der Oeffnung †††), wie es schon Papin an seinem Digestor anbrachte. Edelkranz ††††) schlug als Sicherheitsventil mit directer Belastung einen kleinen Dampfkolben vor, der, mit Gewichten belastet, in einem Rohre dampfdicht anschließt,

*) Prechtl, Techn. Encykl. Bd. IV. S. 134.

**) Vgl. Prechtl, Techn. Encykl. Bd. I. S. 364.

***) Siehe d. Art. Dampfmaschine. Cap. III. §. 25 — 28. S. 321 ff.

****) Siehe d. Art. Dampfmaschine. S. 333.

*****) Siehe d. Art. Dampfmaschine. S. 322 und 333.

†) Siehe d. Art. Dampfmaschine. S. 334 — 335. Prechtl, Techn. Encykl. Bd. III. S. 524 ff.

††) Schweigg. Journ. Bd. XXII. S. 208. Gehler's Phys. Wörterb. Bd. II. S. 549. Fig. 173.

†††) Siehe d. Art. Dampfmaschine. S. 342.

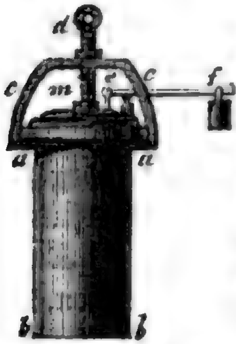
††††) Gilbert's Ann. Bd. XXII. S. 129. Gehler's Phys. Wörterb. Bd. II. S. 547.

das einige über einander angebrachte Ausströmungsöffnungen besitzt, die im normalen Zustand durch den Stempel von der Communication mit dem Digestor abgeschlossen sind. Sobald der Dampfdruck aber höher steigt, wird der Kolben gehoben und es entweicht eine, der Spannung proportionale Dampfmenge. Prechtl *) schlägt Kugelventile vor, um das Einleimen des Ventiles zu vermeiden, sowie die Anwendung schmelzbarer Platten **) bei hohem Druck. Bei größeren Digestoren will er statt dessen eine besondere Art von Sicherheitsrohr anwenden. Schon Edelkranz brachte an seinem Digestor einen Thermometer an, den er aber nicht unmittelbar in den Digestor einfügte. Er bringt im Deckel des Digestors eine Vertiefung an, welche er mit Quecksilber anfüllt, um in dieses den Thermometer einzusenken. Der dampfdichte Verschluß der Oeffnung ist beim Digestor eine Hauptsache, da der Schluß leicht und bequem bewerkstelligt werden muß, ohne den Apparat zu compliciren. Für die Art der Befestigung des Deckels auf der Oeffnung sind vielerlei Abänderungen angegeben worden, welche Karmarsch ***) zusammengestellt hat. Die einfachste und sicherste Art ist die durch eiserne Bügel mit über der Deckelwand übergreifenden Lappen und einer Druckschraube. Die dampfdichte Liederung des auf dem Gefäß aufgeschliffenen Deckels geschieht durch Auflegen eines Ringes von Pappe, Leinwand, Hanf, Filz oder Bleiblech auf die Flantsche des Gefäßes, welche mit eingedrehten Nuthen versehen ist. Hanfleinwand mit Mennigkitt oder Unschlitt geschmiert, reicht für gewöhnliche Zwecke aus. Man kann dabei die Hitze bis zum Verkohlen des Hanfes, d. h. bis zu 37 Atmosphären (250° C.) treiben. Beabsichtigt man noch größeren Druck, so ist der vulkanisirte Kautschuc zu empfehlen. Prechtl schlägt vor ****), den Deckel auf das Gefäß mit Blei aufzulöthen. Will man über den Schmelzpunkt des Bleies hinausgehen, so schlägt Muncke sogar Goldlöthung vor *****).

Im Einzelnen hängt die Construction und Einrichtung des Digestors von dem Gebrauch ab, für welchen er bestimmt ist. Hierbei ist der wissenschaftliche (physikalische oder chemische) Zweck von dem ökonomischen und technischen wohl zu unterscheiden. Für wissenschaftliche Zwecke ist der Digestor zur Untersuchung der Natur der Dämpfe, ihrer Elasticität und Dichtigkeit und des Verhaltens verschiedener Substanzen in Bezug auf Löslichkeit in stark erhitzten Flüssigkeiten und unter starkem Druck, von Wichtigkeit. Hierher gehören die Untersuchungen des Sinters aus heißen Quellen, der in Wasser schwer löslichen Mineralien überhaupt und der Fossilien, welche zu interessanten geologischen Resultaten über die frühere Temperatur der Erde und den früheren Druck der Atmosphäre führen. Für solche Zwecke sind die Digestoren von Edelkranz, Muncke und Prechtl (siehe oben) bestimmt. Diese Apparate müssen fähig sein, den höchsten Druck auszuhalten, während die für technische Zwecke bestimmten immer nur für eine mäßige Maximalspannung zu construiren sind. Für wissenschaftliche Zwecke ist umstehender Digestor ausreichend †). Der Apparat besteht aus

*) Techn. Encykl. Bd. IV. S. 128.
**) Siehe d. Art. Dampfmaschine. S. 346.
***) Jahrb. d. polyt. Inst. Bd. XI. S. 316 ff.
****) Techn. Encykl. Bd. IV. S. 129.
*****) Gehler's Phys. Wörterb. Bd. X. S. 1142.
†) Pouillet-Müller's Physik. 3. Aufl. Bd. II. S. 381.

einem cylindrischen Gefäß von Eisen, Messing oder Kupfer b b (siehe beistehende Figur), welches am oberen Rand eine Flantsche a a trägt. Der Deckel m ist mit Falz und Nuthen versehen, oder wird konisch in den Kesselrand eingeschliffen und sodann durch den übergreifenden Bügel c c mit der Druckschraube d auf den Digestor gepreßt, nachdem zuvor eine Dichtung von Hanfleinwand oder vulkanisirtem Kautschuc aufgelegt ist. Zur größeren Sicherung kann der Deckel noch mit Blei verlöthet sein. Im Deckel sitzt das Sicherheitsventil e, das durch den Hebel f mit Gewichten beliebig belastet werden kann. Außerdem ist bei m noch eine Vertiefung angebracht, in welche Quecksilber eingegossen wird, um mit dem Thermometer die Temperatur bestimmen zu können. Im Allgemeinen hat also der Digestor dieselbe Einrichtung, wie die Apparate von Robison *), Watt, Betancourt **), Schmidt ***) ꝛc. zur Untersuchung der Elasticität der Wasserdämpfe. Im Innern kann noch ein, auf der Flantsche ruhendes feines Sieb von Kupferblech angebracht sein, das leicht herauszunehmen ist, um in dasselbe diejenigen Substanzen zu legen, welche man nur der Einwirkung der heißen Dämpfe aussetzen will, ohne sie unmittelbar in die Flüssigkeit zu werfen. Zum Gebrauch bei Analysen vegetabilischer Substanzen ist von Chevreuil folgende Einrichtung vorgeschlagen ****). Der Digestor besteht aus einem starken kupfernen Cylinder, der mit einem dichtanschließenden Cylinder von Silberblech ausgefüttert ist, ebenso der gewölbte Deckel, der mit Schraubenzwingen befestigt wird. Das konische Sicherheitsventil wird durch eine Spiralfeder angedrückt und eine von dem Deckel auslaufende Röhre dient dazu, den Digestor mit einem Woolf'schen Apparat zu verbinden, um die sich entwickelnden Dämpfe verdichten zu können.



Soll der Digestor zu technischen Zwecken benutzt werden, so giebt die besondere Art derselben die zu beobachtenden Bedingungen von selbst an. Zur Extraction der Farbstoffe, zur Bereitung von Lack und Firnissen ꝛc. ist der Digestor mit Vortheil anzuwenden, zumal wenn die auf einmal zu verarbeitenden Quantitäten nicht sehr groß sind. Da die Bereitung durch einen Sachverständigen geschehen muß, so kann ein, den Erfordernissen angemessener Apparat nach den mitgetheilten Notizen leicht verfertigt und gehandhabt werden. Bei Bereitung der Lackfirnisse und anderer geistiger Auflösungen ist es von Vortheil, die Temperatur der Flüssigkeit höchstens in der des siedenden Wassers oder bei noch geringerer Temperatur erhalten, den Druck selbst aber nach Belieben verstärken zu können. Für diese Zwecke ist Prechtl's Druckdigestor ganz besonders brauchbar. Er besteht im Wesentlichen aus einem Digestor *****), der in einen engen Hals mit Stopfbüchse ausläuft, durch welche ein massiver Bolzen oder Stempel in das Innere geführt wird. Der Digestor wird ziemlich ganz mit der Flüssigkeit und der zu extrahirenden Substanz gefüllt und ist von einem Mantel umgeben, der zur Aufnahme

*) Mech. Philos. T. II. p. 23. — Art. Dampf Bd. II. S. 88.
**) Mém. sur la force expans. de la vapeur. 1792. Art. Dampf Bd. II. S. 92.
***) Versuch über die Expansivkraft ꝛc. 1798. — Art. Dampf Bd. II. S. 93.
****) Karmarsch und Heeren, Techn. Wörterbuch 1843. Bd. I. S. 477.
*****) Techn. Encykl. Bd. IV. S. 134. — Taf. 64. Fig. 23.

eines Wasser- oder Dampfbades dient. Durch Letzteres wird der Flüssigkeit im Innern des Digestors die zur Operation nöthige constante Temperatur ertheilt. Durch Auflegen von Gewichten auf den massiven Stempel wird aber der erforderliche hydrostatische Druck ertheilt, der ebenfalls beliebig regulirt werden kann. Das Princip ist also dasselbe, wie bei der hydrostatischen Presse*), während die Wirkungsart gerade die umgekehrte ist. Der Dampfdruck ist hierbei gänzlich ausgeschlossen und wird durch directe Belastung ersetzt.

Die hauptsächlichste ökonomische Verwendung findet aber der Digestor als Kochapparat, eine Anwendung, zu welcher er vom Erfinder selbst bestimmt wurde. Muncke nimmt an **), daß der Vorschlag, Knochen, Hirschhorn, Knorpel und dergl. bei erhöhter Temperatur und Pressung mit Wasser auszukochen, um auf solche Weise die Gallerte schneller und in großer Menge auszuziehen, von Boyle herrühre ***). Doch machte Papin diese Methode noch früher bekannt und gab zugleich den nach ihm benannten Topf an, worin dies am bequemsten geschehen kann ****). Die Gefahr der Explosion führte Papin schon 1682 auf die Erfindung des Sicherheitsventiles. Die ersten Verbesserungen des Papini'schen Topfes gab der Erfinder selbst an *****), später beschäftigten sich Hubin †), Clayton ††), Wilke †††), Sangiorgio ††††) u. A. damit und empfahlen den Digestor besonders zu ökonomischen und pharmaceutischen Zwecken. Größere Sicherheit und Festigkeit verliehen die Constructionen von Ziegler †††††), Edelkranz *†), Muncke **†), Ferrari u. A. ***†). In neuerer Zeit haben Dingler ****†), Prechtl *****†) und Karmarsch †*) sich mit diesem Gegenstand beschäftigt und Letzterer eine Zusammenstellung der Resultate und Constructionen gegeben ††*), unter welchen wir noch die von Zenker und Montfarine, den englischen Digestor von Wells †††*), den Autoclav von Lemaire ††††*) und die Apparate von Fortin †††††*),

---

*) Siehe d. Art. Hydrostatik.

**) Gehler's phys. Wörterb. Bd. II. S. 544.

***) Experim. nov. physico-mechan. continuatio sec. Genev. 1682. 4. p. 128.

****) A new Digester. Lond. 1681. La manière d'amolir les os. Amst. 1681. 4.

*****) La manière etc. Nouv. ed. augm. d'une sec. partie. Amst. 1685. 12. — Continuation of the new digester. Lond. 1687. 4.

†) Mém. de l'Ac. T. I. p. 208.

††) Phil. Trans. 1739. N. 454.

†††) Schwed. Abhandl. 1773. — Mémoire sur l'usage économique du digesteur, à Clermont. Ferrand 1761. 8.

††††) Chem. und pharm. Abhandl., übers. von Schmidt. Leipz. 1797. Nr. 12.

†††††) Specimen physico-chemicum de Digestore Papini. Bas. 1769. 4.

*†) G. A. Bd. XXII. S. 129.

**†) Schweigg. Journ. Bd. XXII. S. 203.

***†) Dingler's Polyt. Journal. Bd. XXXI. S. 417.

****†) Beschreibung und Abbildung mehrerer Dampfapparate von Dingler. (Augsburg 1818.)

*****†) Techn. Encykl. Bd. IV. S. 123 ff.

†*) Jahrb. d. pol. Inst. Bd. XI. S. 316. Bd. XV. S. 205.

††*) Vergl. Laboratorium. Hft. XXXVI.

†††*) Patent-Peripurist. Dingler's Journ. Bd. XXX. S. 107.

††††*) Dingler's Journ. Bd. XV. S. 445.

†††††*) Marmite evasineptique. Dingler's Journ. Bd. X. S. 374.

Bazic*) rc. zum Küchengebrauch hervorheben wollen. Die Autoclaves, die gegenwärtig in Frankreich sehr gebräuchlich sind, weichen nur in der Art des Verschlusses von dem ursprünglichen Digestor ab. Bei denselben wird der, auf den flach abgeschliffenen breiten Rand des Kessels genau passende Deckel durch bloße Drehung befestigt, indem er sich unter entsprechende Vorsprünge der Kesselwand schiebt.

In Holland benutzte man den Digestor zuerst als Küchengeschirr, besonders zur Bereitung der Bouillontafeln. Van Marum gab sich namentlich Mühe, den Apparat in Armen- und Krankenanstalten einzuführen **). Unter andern wurde ein großer eiserner Digestor in der Rumford'schen Suppenanstalt in München mit dem besten Erfolge benutzt ***), in der Ecole normale primaire zu Versailles von der holländischen Compagnie eingerichtet ****), und von Pleischl *****) als Kochapparat für das Hospiz von St. Bernhard und andere hochgelegene Punkte empfohlen. Daß trotzdem der Digestor in Deutschland nur wenig angewendet wird, liegt einestheils in dem Umstand, daß der Apparat ziemlich complicirt, kostspielig und vor Explosion nicht absolut sicher ist, so daß er in seiner Behandlung doch immer eine gewisse Sorgfalt und Umsicht verlangt. Anderntheils ist der Grund in den wissenschaftlichen Resultaten zu suchen, welche nachwiesen, daß der Digestor zu dem Zwecke der Gelatinbereitung aus Knochen rc. nicht absolut nöthig ist. Schon früher hatte Proust durch seine Versuche gezeigt †), daß man die Knochen nur zu zerkleinern nöthig habe, um bei gewöhnlicher Siedhitze die Knorpel aufzulösen und Gelatin und Fett zu gewinnen. Doch ist bei diesem Verfahren wegen der langsameren Auflösung, der Verbrauch an Brennmaterial weit beträchtlicher. Zweckmäßiger war die Methode von d'Arcet ††), die Knochen zuerst mit kaustischer Kalilauge zu behandeln, um das Fett auszuziehen und sodann entweder die Knochen mit verdünnter Salzsäure zu digeriren, welche die erdigen Theile auflöst und das Gelatin zurückläßt; oder die zerkleinerten Knochen in einem Cylinder den Dämpfen von kochendem Wasser unter einem Druck von 90 Centimeter (103° C.) auszusetzen, wobei eine concentrirte Auflösung von Knochengallerte so lange abfließt, als noch ungelöster Knorpel vorhanden ist. Man glaubte auf diese Art eine kräftige und schmackhafte Bouillon zu erhalten und wandte die eine oder andere Methode namentlich in den Rumford'schen Suppenanstalten an.

Durch Liebig's neueste Untersuchungen †††) sind aber Resultate erzielt worden, welche der Anwendung des Papin'schen Digestors zu diesen und ähnlichen Zwecken in doppelter Hinsicht entgegen stehen. Liebig gab über die Zubereitung des Fleisches und über die Natur der Fleischbrühe (Bouillon) neue Ge-

*) Dingler's Journ. Bd. XXXIV. S. 136.
**) Voigt, Mag. Bd. III. S. 198, 245.
***) Schweigg. Journ. Bd. XX. S. 305. Bibl. univ. T. VI. p. 63.
****) Dingler's Journ. Bd. XLV.
*****) Gilb. Ann. Bd. LXV. S. 325.
†) Gilb. Ann. Bd. XXII. S. 167.
††) Ann. de Chim. T. XCII. p. 300. — Schweigg. Journ. Bd. XIII. S. 349. — Dingler's Polyt. Journ. Bd. XXXVII. S. 120. Bd. LXIV. S. 383. Bd. LXXII. S. 239.
†††) „Ueber die Bestandtheile der Flüssigkeiten des Fleisches.“ Ann. Ch. Phar. Bd. LXII. S. 257. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie von Liebig und Kopp, für 1847 u. 1848. (Gießen 1849.) S. 876 u. 1098.

sichtspunkte an. Er bewies zunächst, daß das Wesen der Bouillon nicht in der aufgelösten Leimsubstanz bestehe, daß die Gallerte der Fleischbrühe keinen Geschmack gebe und ihrer Menge nach bei Weitem unzureichend sei, um daraus die Nahrhaftigkeit der Fleischbrühe zu erklären. Liebig gab ferner eine einfache Methode an, Fleischextract zu bereiten (durch Mengung von fein gehacktem Ochsenfleisch mit dem gleichen Gewicht kalten Wassers, Kochen von einigen Minuten und nachfolgendes Abdampfen der Fleischbrühe im Wasserbad zu einem braunen Extract), welche von der Bereitungsart der Knochenbrühe, der Bouillontafeln ꝛc. ganz verschieden ist. Der Liebig'sche Extract liefert jeden Augenblick, in 30 Th. Wasser gelöst und gesalzen, die trefflichste Fleischbrühe. Der Fleischrückstand wird dabei völlig ungenießbar, geschmacklos und zähe. Daraus ergiebt sich, daß die Bereitung einer gehaltreichen Fleischbrühe und eines schmackhaften Fleisches gleichzeitig nicht möglich sei. Liebig fand endlich, daß die Bereitung des gekochten Fleisches am Besten dadurch geschieht, daß man das Fleisch sogleich in vorher siedendes Wasser bringt, dieses aber durch Zugießen von kaltem Wasser sodann auf 70° abkühlt und auf dieser Temperatur erhält. Durch Sieden wird die reine Fleischfaser, statt zu erweichen, vielmehr horn= und sehnenartig. Deshalb soll die Temperatur im Innern eines Fleischstückes die Siedhitze niemals erreichen, was unter gewöhnlichen Verhältnissen auch nicht geschieht, da nach Liebig die Temperatur des kochenden Fleisches im Innern 65° bis 70° beträgt.

Dadurch ist einestheils nachgewiesen, daß das Kochen des Fleisches im Digestor bei erhöhter Temperatur für das Fleisch nicht vortheilhaft, sondern nachtheilig ist, weil es dadurch eher erhärtet, statt erweicht wird. Anderntheils folgt daraus, daß die Benutzung des Digestors zur Gelatinbereitung durch Zerkochen der Knorpel und Knochen eine eigentliche Bouillon nicht liefern kann. Wenn also Liebig's Untersuchungen der Anwendung des Digestors auf diese Weise direct entgegen stehen, so ist doch auf der andern Seite die Ersparniß an Brennmaterial wohl in Anschlag zu bringen, welche immerhin durch den Digestor erzielt wird. Ist nämlich ein dampfdicht verschlossener Topf einmal bis zur Siedhitze erwärmt, so braucht nur noch die geringe Wärme zugeführt zu werden, welche derselbe an die umgebende Luft abgiebt. Muncke hat, um die Leistungen des Digestors in dieser Hinsicht, im Verhältniß zum gewöhnlichen Kochapparat, kennen zu lernen, schon früher vergleichende Versuche angestellt *) und gefunden, daß der Aufwand, welchen der Digestor gegen einen gewöhnlichen Kochtopf an Brennmaterial erfordert, im Verhältniß von 1 : 10 steht, woraus der offenbarste ökonomische Vortheil des Digestors für die Feueranlagen erhellt. Ueberdies ist der Digestor zum Kochen anderer als Fleischspeisen, namentlich für Hülsenfrüchte ꝛc. immerhin zu empfehlen, da sich mit demselben die Temperatur leicht einige Grade über den Siedepunkt erhöhen läßt und dadurch, ohne den nachtheiligen Einfluß einer zu starken Hitze, ein schnelleres Erweichen der betreffenden Nahrungsmittel zu erlangen ist. In der That sind die gußeisernen Autoclaves, welche nur für einen Druck von 2 Atmosphären zu construiren sind, in England und Frankreich jetzt sehr verbreitet.

Wenn in Deutschland auch die Autoclaves wenig Eingang gefunden haben, so verbreiten sich doch die Dampfkochapparate mehr und mehr. Diese

---

*) Gehler's Phys. Wörterb. Bd. II. S. 551.

sind dem Princip des Digestors weniger in der Anwendung eines hohen Dampfdruckes als in der zweckmäßigen Benutzung der latenten Dampfwärme verwandt *). Ihre Ausbreitung macht die Anwendung des eigentlichen Digestors auch theilweise überflüssig, so daß dieser für ökonomische Zwecke wohl nicht mehr, als bisher geschehen ist, in Aufnahme kommen wird. Richard Pohl.

Dimorph heißt ein Körper, welcher unter verschiedenen äußeren Umständen, namentlich unter verschiedenen Temperaturverhältnissen, Formen annimmt, welche zweierlei verschiedenen Krystallsystemen angehören, oder Winkel darbieten, die, wenn sie auch mit den Gestalten desselben Krystallsystems übereinstimmen, doch nicht auf eine und dieselbe Grundform zurückgeführt oder von derselben abgeleitet werden können. Zu gleicher Zeit mit der Krystallform ändert der Körper in der Regel auch mehrere seiner physikalischen Eigenschaften, wie Farbe, Härte, specifisches Gewicht rc. Von den mannichfachen in der Natur vorkommenden oder durch Kunst erzeugten Körpern und chemischen Verbindungen, welche als dimorph beschrieben sind und die man in Gmelin's Handbuch der Chemie, Bd. I. S. 93 — 97 ausführlich mitgetheilt findet, heben wir hier die folgenden Beispiele als die bemerkenswerthesten heraus: 1) Unter den einfachen Körpern gehört der Kohlenstoff (s. d. Art.) als Diamant dem regulären, als Graphit dem 6gliedrigen Systeme an; der Schwefel (s. d. Art.) krystallisirt aus seinen Auflösungen in den Formen des 2- u. 2-gliedrigen Systemes heraus, dagegen bildet er bei seinem Uebergange aus dem geschmolzenen in den starren Zustand 2- u. 1-gliedrige Krystalle; dieselbe Form nimmt der Schwefel an, wenn man ihn bei einer seinem Schmelzpunkte nahen Temperatur aus Flüssigkeiten fällt oder sublimirt. 2) Metalloxyde; das Kupferoxydul kommt in der Natur als Rothkupfererz in den Formen des regulären Systemes krystallisirt vor, als Kupferblüthe dagegen in regelmäßig 6seitigen Säulen mit rhomboedrischer Grundform. Das Bleioxyd erhält man nach dem Schmelzen und aus der gesättigten Auflösung in heißem concentrirten Kali in gelben rhombischen Oktaedern; in der nicht gesättigten Auflösung bilden sich aber außer jenen Krystallen noch rothe Krystallschuppen, welche erhitzt beim Erkalten gelb werden, indem sie in die erstere Art übergehen. Die arsenige Säure und das Antimonoxyd sind isodimorph, sie krystallisiren beide in denselben Formen des regulären, wie des 2- und 2-gliedrigen Systemes. 3) Von den Schwefelmetallen kommt das Halbschwefelkupfer, als Kupferglanz, im 6gliedrigen Systeme krystallisirt vor; künstlich hat man es auch in regulären Oktaedern erhalten. Das natürliche Zweifach-Schwefeleisen findet man als Schwefelkies in den Formen des regulären, als Strahlkies in denen des 2- und 2-gliedrigen Systemes. 4) Das Einfach-Jod-Quecksilber erhält man sowohl aus seiner Auflösung, als bei der Sublimation in sehr gelinder Wärme in scharlachrothen Tafeln des 4gliedrigen Systems, dagegen bei seiner Sublimation in höherer Temperatur in schwefelgelben rhombischen 2- und 1-gliedrigen Tafeln. Die rothen Krystalle werden beim jedesmaligen Erhitzen gelb, beim Erkalten nach und nach wieder roth; die bei höherer Temperatur erhaltenen gelben Krystalle behalten ihre Farbe auch nach dem Erkalten bei; aber bei der schwächsten Reibung oder Berührung mit einer

*) Als eigenthümliche Benutzung des Digestors seien noch die neuen französischen Patent-Kaffeemaschinen angeführt, welche den Kaffee erst durch Druck und Wärme extrahiren und sodann den fertigen Kaffee durch Dampfdruck aus einer Röhre selbstthätig ausgießen.

Spitze färbt sich der berührte Punkt scharlachroth, und diese Färbung pflanzt sich unter einer Bewegung, wie wenn die Masse belebt wäre, durch den ganzen Krystallhaufen, so weit er zusammenhängt, fort. Es bleibt hier die äußere Form der gelben Krystalle, während die zusammengesetzten Atome dieselbe Lage, wie in den rothen Krystallen angenommen haben müssen, es sind gelbe Afterkrystalle; dieselben werden beim jedesmaligen gelinden Erwärmen gelb, beim Erkalten wieder roth. 5) Von den Sauerstoffsalzen bietet der kohlensaure Kalk ein ausgezeichnetes Beispiel von Dimorphismus dar; als Kalkspath (s. d. Art.) gehört er dem rhomboedrischen, als Arragonit (s. d. Art.) dem 2- u. 2-gliedrigen Systeme an; im ersteren Falle ist sein specifisches Gewicht = 2,721, im zweiten = 2,931. Aus einer Auflösung des kohlensauren Kalkes in kohlensaurem Wasser scheidet sich derselbe beim freiwilligen Verdunsten in Kalkspathrhomboedern aus, bei der Siedhitze in Arragonitkrystallen. Bei der Behandlung von einer Auflösung des salzsauren Kalkes mit kohlensaurem Ammoniak wandelt sich der zuerst entstandene voluminöse Niederschlag nach und nach in kleine Kalkspathrhomboeder um; werden jedoch die Auflösungen kochend gemischt, so bilden sich Arragonitkrystalle, die jedoch ebenfalls, wenn sie mehrere Tage in der Salzlösung bleiben, in Kalkspath wiederum übergehen. Ein natürlicher Arragonitkrystall zerfällt bei schwacher Glühhitze ohne Gewichtsverlust zu einem weißen undurchsichtigen Pulver, welches nunmehr das specifische Gewicht des Kalkspathes zeigt. Auch das kohlensaure Eisenoxydul verhält sich ähnlich wie der kohlensaure Kalk, man findet es als Eisenspath (specifisches Gewicht = 3,872) in der Form des Kalkspathes, dagegen im Junkerit (spec. Gew. = 3,815) in der des Arragonits. Das salpetersaure Kali krystallisirt ebenfalls in 2- und 2-gliedrigen Säulen, wie auch in Rhomboedern, die letzteren bilden sich in einer Auflösung bei — 10°, besonders bei Zusatz von Weingeist, die jedoch bei Berührung mit einem gewöhnlichen prismatischen Krystalle, wie auch durch Erhitzung ihre Form verlieren. Das chromsaure Bleioxyd kommt sowohl in schiefen rhombischen Säulen wie auch in den Formen des 4gliedrigen Systemes in der Natur vor. Das saure phosphorsaure Natron bildet zwei Reihen von Krystallformen, die zwar beide dem 2- und 2-gliedrigen Systeme angehören, aber mit Winkeln, die gegenseitig nicht von einander abgeleitet werden können und also die Annahme von zwei verschiedenen Grundformen nothwendig machen. Das schwefelsaure Nickeloxydul ist trimorph (s. d. Art.) und die mit dieser Verbindung isomorphen Salze wahrscheinlich ebenfalls, wenn man auch bisher nur zwei verschiedene Krystallformen bei ihnen aufgefunden hat.

E. W.

Dinte, s. Tinte.

Diopter, s. Alhidade.

Dioptrik (lat. Dioptrica, franz. dioptrique, engl. dioptrik) ist der zweite der vier Haupttheile der optischen Wissenschaften und betrifft die Betrachtung aller Erscheinungen, welche beim Durchgange der Lichtstrahlen durch durchsichtige Mittel entstehen. Die Dioptrik betrachtet demnach nicht blos die Brechung (Refraction) der Lichtstrahlen überhaupt, sondern auch für den Fall, wo das brechende Mittel eine bestimmte Form hat. Man sehe deshalb die Art. Brechung und Linsengläser. Dann behandelt sie auch die ungleiche Brechung der verschiedenen Farbenstrahlen und die Brechung des Lichts in der Atmosphäre der Erde. Dies sind sämmtlich die Gegenstände der theoretischen Dioptrik. Die Anwendung

derselben auf mancherlei Gegenstände der Natur und Kunst begreift man alsdann unter dem Namen der praktischen Dioptrik; letztere betrachtet daher den Bau des Auges und seine Functionen des Sehens, die Linsengläser, die Brillen, Mikroskope, Fernröhren, die Camera clara und Camera lucida rc., ferner die astronomische und terrestrische Refraction; sie enthält, wenigstens zum Theil, die Erklärung des Regenbogens, die der Luftspiegelung, der Nebensonnen und Nebenmonde rc.

Was die Geschichte der Dioptrik betrifft, so kommen schon in der Optik des Ptolemäus Versuche über die Brechung des Lichts vor, welche Versuche Alhazen und Vitelli dadurch vervollkommneten und vermehrten, daß sie die Lichtbrechung bei verschiedenen Einfallswinkeln betrachteten. Dennoch war man, als gegen Ende des 13. Jahrhunderts die Brillen erfunden worden waren, noch nicht so weit, theoretisch richtig den Umstand zu erklären, warum die Brillen den Weitsichtigen das Sehen in der Nähe erleichtern. Madrolycus und Porta sind die Vorgänger Kepler's, der nun zwar die Brechung genauer untersuchte, ohne aber den Bau des Auges und die Wirkung des zu seiner Zeit erfundenen Fernrohres der Wahrheit gemäß erklären zu können, was erst dann geschah, als Snellius das wahre Brechungsgesetz entdeckt und Cartesius bekannt gemacht hatte. Denn nun erst war man im Stande, die Dioptrik mathematisch zu behandeln und mit der Wirklichkeit übereinstimmende Folgerungen auf dieser sichern Basis zu begründen. Dies geschah besonders von Huyghens, Gregory und Barrow; Huyghens stellte nicht nur Untersuchungen über die doppelte Brechung des Kalkspaths an, sondern erklärte auch die durch ein Linsenglas oder durch mehrere Linsengläser sich darstellenden Erscheinungen geometrisch, so daß er vortheilhafte Constructionen für die verschiedenen Arten des Fernrohrs anzugeben im Stande war. In letzterer Beziehung traten als glückliche Nachfolger Kircher, Schott und Jahn auf, die auch Mikroskope baueten.

Bis auf Newton jedoch hatte man, irriger Ansichten über die Farben wegen, die Lehre von den Farben, als nicht zur Dioptrik gehörend, von dieser Wissenschaft getrennt behandelt. Erst als Newton durch seine unsterblichen theoretischen und praktischen Arbeiten auf dem Gebiete der Optik, wodurch er alle seine Vorgänger übertraf, die Dioptrik wesentlich vervollkommnet und beträchtlich erweitert hatte, wurde die Lehre von den Farben ebenfalls ein wichtiger Theil der Dioptrik. Dennoch wurde, indem Newton in Folge eines unvollkommenen und unrichtig angestellten Experiments sich zu einer falschen Ansicht von der Wirkung der aus verschiedenartigen Materien zusammengesetzten Gläser in Bezug auf die Farbenzerstreuung hatte verleiten lassen und weil man nicht wagte, an dieser Meinung Newton's zu zweifeln, — einer der größten Fortschritte in der praktischen Dioptrik fast ein ganzes Jahrhundert hindurch verhindert, da erst in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts Klingenstierna und Euler, besonders aber der erstere, Newton's Irrthum aufdeckten und nachwiesen, so daß John Dollond, hierdurch aufmerksam gemacht, endlich das Glück hatte, Erfinder der achromatischen Objecte zu werden. Das Weitere über diesen Gegenstand bis auf Frauenhofer's großartige Leistungen sehe man im Art. Fernrohr. In der neuesten Zeit ist die Dioptrik außerordentlich noch durch die schönen Untersuchungen und Entdeckungen eines Malus, Biot, Seebeck, Brewster und John Herschel bereichert worden; denn die Lehre von der doppelten Brechung hat eine

beträchtliche Erweiterung erfahren, indem die Polarisation des Lichtes sehr sorgfältig und mannigfach untersucht worden ist und dadurch ganz neue Aufschlüsse gegeben hat. Endlich sind, was einzelne und mehrere Theile der Dioptrik betrifft, Männer, wie Halley, Clairaut, d'Alembert, Klügel, Kästner, Smith, Bischof, Brechtl, Barfuß, Bessel, Petzval u. A., nicht unerwähnt zu lassen. Was Goethe für die Farbenlehre gethan hat, kann, streng genommen, nicht als in die mathematische Dioptrik gehörend betrachtet werden, indem dies blos der Lehre von den physiologischen Farbenerscheinungen Nutzen gebracht hat. Uebrigens müssen zur Vervollständigung dieses sehr kurzen Abrisses der Geschichte der Dioptrik noch die besondern Artikel Brechung, Fernrohr, Mikroskop, Farben, Brillen, Licht rc. nachgelesen werden, wo auch die Literatur der, die Dioptrik entweder im Allgemeinen oder auch blos Theile derselben behandelnden, Werke aufgeführt ist. Jahn.

Diorit, s. Berg. Bd. I. S. 783.

Diplanometer, s. Anemoskop.

Dipleidoskop ist ein um 1843 von Dent in London erfundenes Instrument zur Einrichtung jedes beliebigen Fernrohrs zu Culminationsbeobachtungen. Es ersetzt also größtentheils das weit theurere Passageninstrument (s. d. Art.) und besteht aus drei sehr fein geschliffenen Glastafeln in Rechteckform mit parallelen Flächen zusammengesetzt, so daß diese drei Glastafeln ein gleichschenkliches Prisma einschließen, wobei von den drei Neigungswinkeln der Seitenflächen der eine 90° und folglich jeder der beiden andern 45° groß ist. Wird nun das Dipleidoskop vor dem Objective eines Fernrohrs so befestigt, daß die dem rechten Winkel gegenüber liegende Seitenfläche nach einem Gegenstande zugekehrt und genau senkrecht auf der Axe des Fernrohrs ist, so wird man von dem Gegenstande, sobald dessen Strahlen nicht genau parallel mit der Axe des Fernrohrs sind, im Sehfelde zwei Bilder erblicken, wovon das eine durch unmittelbare Strahlen des Gegenstandes, das andere durch von den Seitenflächen des Dipleidoskops reflectirte Strahlen gebildet wird. Bei Strahlen, die mit der Axe parallel laufen, decken sich beide Bilder. Man denke sich nun ein mit dem Dipleidoskop versehenes Fernrohr in den Meridian gebracht, so daß die Sonne bei ihrer Culmination hindurchgehen muß; die der Sonne zugewendete Fläche desselben werde A, von den innern nach dem Objective zugekehrten die linke B, die rechte C genannt, so wird von den unmittelbaren, durch die Glasflächen hindurchgehenden Sonnenstrahlen ein Bild entstehen. Dann aber werden die auf B fallenden Strahlen nach C, von C nach A und von A wieder ins Fernrohr reflectirt, so daß noch ein zweites Bild entsteht. Diese beiden Bilder müssen sich nun wegen der scheinbaren Bewegung der Sonne ebenfalls bewegen, und zwar, wie man sich leicht durch eine einfache Construction wird deutlich machen können, nach entgegengesetzter Richtung. Endlich im Augenblick der Culmination müssen sie sich völlig decken. Man kann also mittelst des Dipleidoskops Culminationen der Sonne beobachten und somit genaue Zeitbestimmungen erlangen.

Littrow *) hat gezeigt, daß man die längst bekannte Methode, nach welcher ein Gestirn stets in demselben Azimuthe beobachtet wird, mittels des Diplei-

*) Schumacher, Astron. Nachr. Nr. 521.

doskops sehr vortheilhaft anwenden könne. Ueberlegt man nämlich, daß dieses Instrument eigentlich, ganz allgemein betrachtet, den Durchgang der Sonne durch einen bestimmten Höhenkreis giebt, so kann man damit nicht nur im Meridiane, sondern auch mehrere Stunden vor oder nach der Culmination die Zeit mit gleicher Sicherheit bestimmen, d. h. die Methode, nach welcher ein Gestirn immer in gleichem Azimuthe beobachtet wird, kann hier mit großem Vortheile gebraucht werden. Ist φ die Polhöhe, s der Stundenwinkel, δ die Declination und ω das Azimuth des Gestirns, so erhält man ω aus der Gleichung

$$\cot \omega = -\frac{\cot s \cos(\varphi + y)}{\sin y}, \text{ wo } \tan y = \cos s \cot \delta.$$

Hat man so am ersten Tage durch die, auf andere Weise gegebene Correction der Uhr das Azimuth ω gefunden, so ist an jedem folgenden Tage für den Augenblick der Deckung der Stundenwinkel s aus folgenden Ausdrücken herzuleiten:

$$\cos(s - x) = \frac{\cot \varphi \cos x}{\cot \delta}, \text{ wo } \tan x = -\frac{\cot \omega}{\sin \varphi},$$

und durch eine kleine Tafel die hier nöthige Rechnung ein für alle Mal auszuführen. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß man sich nicht gar zu sehr vom Meridiane entfernt, weil sonst kleine Fehler in der Polhöhe einen zu großen Einfluß äußern.

Interessante katoptrische Betrachtungen hinsichtlich einer beim Dipleidoskop vorkommenden Erscheinung hat Encke *) angestellt.

Es lassen sich endlich, wie Hülsmann **) zeigt, auch die Culminationen von Fixsternen 1. und 2. Größe mittelst des Dipleidoskops recht gut beobachten, wobei sogar eine schwache Beleuchtung des Gesichtsfeldes, wenigstens bei den Sternen 1. Größe, noch vertragen wird. Diese Beleuchtung bewirkt man, indem man das Licht einer Lampe auf die erste Fläche des Instruments fallen läßt. Zieht man dann in das Gesichtsfeld zwei Fäden, ungefähr gleich weit von der Mitte und parallel dem Bilde eines vor dem Instrumente aufgehangenen Loths, so erhält man an jedem Faden zwei Beobachtungen und außerdem auch das Moment der Bedeckung beider Bilder. Das Mittel aus diesen 5 Momenten wird die Culminationszeit mit großer Genauigkeit geben. — Außer den schon angeführten Schriften sehe man noch Grunert's Archiv für Mathem. und Phys. V. Theil 4. Heft; Heßler's encyklop. Zeitschr. 1844. 16. Heft. Jahn.

Dipsector, zusammengesetzt aus Dip (im Englischen: Tiefe des Horizonts) und Sector (Ausschnitt), ist ein von Wollaston 1817 erfundener, zur Bestimmung der Depression des Meerhorizonts, d. h. der Kimmtiefe dienender Winkelmesser von nur etlichen Graden, ähnlich dem Spiegelsextanten, ein für die Nautik sehr nützliches Instrument, da es die bei den zur See beobachteten Höhen der Sonne und des Mondes anzubringende Correction finden läßt. Der Dipsector gewährt auch eine vortheilhafte Bestimmung der Küsten-Depression, so daß die Entfernung der Küsten ermittelt werden kann. — Beschreibungen dieses Instruments nebst dessen Abbildung, so wie Anleitung zum Gebrauch, in Verbindung

*) Schumacher, Astron. Nachr. Nr. 523.
**) Schumacher, Astron. Nachr. Nr. 529.

einer die Berechnungen der mit dem Dipsector angestellten Beobachtungen erleichternden Hilfstafel geben gute Lehrbücher der Nautik, auf die wir hier verweisen müssen; man sehe aber auch den Art. Kimmtiefe. Jahn.

Dispersion, s. Brechbarkeit und Farbe.

Dissonanz, s. Schall.

Disthen, ein Name des Cyanit, der von δίς zweifach und σθένος Kraft gebildet ist, und auf die ungleiche Härte des Minerals auf verschiedenen Flächen, so wie auf den Umstand hindeuten soll, daß einige Krystalle beim Reiben positiv, andere negativ elektrisch werden.

Dolerit, s. Berg. Bd. I. S. 783.

Dolomit besteht in den meisten Varietäten aus kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Talkerde in dem Verhältnisse von 54 — 46 Proc. und ist wesentlich ein Aggregat von Kalktalkspathkrystallen. Doch existiren auch Varietäten, in welchen die erwähnten beiden Carbonate nach anderen Verhältnissen verbunden sind, und namentlich mehr kohlensaurer Kalk vorhanden ist, daher man sie vielleicht als Gemenge von Dolomit und Kalkstein betrachten kann, obgleich die Dimorphie von beiden Basen auch die Annahme einer chemischen Verbindung ihrer Carbonate in unbestimmten Verhältnissen vollkommen gerechtfertigt erscheinen läßt. Sehr oft wird etwas Talkerde durch Eisenoxydul vertreten. Die wichtigsten Varietäten sind: a) körniger Dolomit (Urkalkstein z. Th.); deutlich körnig krystallinische Zusammensetzung, oft locker körnig wie Zucker und fast zerreiblich, oder auch porös und zellig. Manche Varietäten sind frei von accessorischen Bestandtheilen, andere ziemlich reich daran; nicht selten erscheinen Glimmer, Talk, Grammatit und Quarz; organische Ueberreste kommen sehr selten und nur als Steinkerne vor; b) cavernoser Dolomit (Rauchwacke, Rauhkalk); feinkörniger Dolomit, der theils aus fester, theils aus lockerer Masse besteht; die festere Masse wird von kleineren und größeren Höhlungen durchzogen, die mit lockerem sandartigen Dolomit, oder mit Dolomitasche angefüllt, oder auch leer sind. Accessorische Bestandtheile sind hauptsächlich Schaumkalk, Kalkspath, Braunzinnerz und Eisenspath; c) dichter Dolomit, dem dichten Kalkstein durchaus ähnlich; besitzt jedoch größere Härte, höheres specifisches Gewicht; d) Dolomitasche (erdiger Dolomit), besteht aus feinen staubartigen, losen oder schwach zusammenhängenden Theilen, die sich unter dem Mikroskope häufig als kleine rhomboedrische Krystalle zu erkennen geben. Nach Karsten ist die Dolomitasche ihrer chemischen Zusammensetzung nach vollkommener Dolomit. — Was die Entstehung des Dolomits anbelangt, so seien die verschiedenen Ansichten hierüber nur angedeutet. L. von Buch stellt den Dolomit, in Anbetracht der Lagerungsverhältnisse, als einen metamorphosirten Kalkstein dar, der durch aufsteigende Massen dampfförmiger Talkerde, die von benachbarten Augitgesteinen, namentlich von Melaphyren herrühren soll, verändert worden sei; andere Beobachter erklären durch die Versteinerungen, die man in manchen Dolomiten findet, ihn für neptunisch, während noch andere ihn gar für ein ursprünglich plutonisches, ganz selbstständiges, von unten emporgestiegenes Gestein halten. Der Streit über die Richtigkeit dieser drei Ansichten ist jetzt zu Gunsten der neptunischen Ansicht geschlichtet (s. Neues Jahrb. d. Mineral. 1840. S. 372; Liebig's Jahresbericht pr. 1847 — 48. S. 1289; Burmeister, Geschichte der Schöpfung 1851. S. 211; Naumann's Geognosie 1851. Bd. I. S. 677; Bronn, Geschichte der Natur. Bd. I. S. 358).

Donarium, nach der germanischen Gottheit Donar, dem nordischen Thor, hat Bergemann in Bonn ein von ihm 1851 entdecktes Metall genannt, welches als kieselsaures Oxyd den Hauptbestandtheil eines von Brevig in Norwegen herstammenden Minerals ausmacht. Das Donaroxyd gehört zu den sogenannten Erden und steht der Zirkon- und Yttererde am nächsten. Das Metall erhielt Bergemann als ein kohlenschwarzes Pulver durch Reduction des Oxydes mittelst Kalium; das specifische Gewicht ist vorläufig durch 7,35 ausgedrückt *).

Donner, s. Gewitter.

Donnerbüchse, s. Pistole, elektrische.

Donnerhaus nennt man ein kleines Modell eines Hauses, in das man den elektrischen Funken einschlagen läßt, um so die Wirkung eines in ein Haus einschlagenden Blitzes im Kleinen darzustellen, je nachdem dasselbe mit einem Blitzableiter versehen ist oder nicht. Man kann demselben eine sehr verschiedene Vorrichtung geben und es kommt nur darauf an, die den elektrischen Funken an demselben herabführende Leitung beliebig unterbrechen oder herstellen zu können, so wie in dasselbe leicht entzündliche Körper zu bringen, welche bei unterbrochener Leitung durch eine Platzung die Wände des Hauses aus einander schleudern und entzündet werden, bei ununterbrochener Leitung aber verschont bleiben. So kann man in die eine Seitenfläche eines, wie ein Häuschen geformten, massiven Stück Holzes eine viereckige Vertiefung machen, in welche ein Bretchen paßt. Von dem Dache des Häuschens führt man einen Metalldraht bis zu der einen Ecke der viereckigen Vertiefung, bricht den Draht dort ab, und führt dann einen anderen Draht von der gegenüberstehenden Ecke der viereckigen Vertiefung nach der Grundfläche des Häuschens, wo man ihn in einen Haken umbiegt. Oben auf dem Dache läuft der Draht in eine senkrecht stehende Spitze aus, auf welche eine Kugel geschraubt ist. Neben dem Häuschen bringt man nun eine Säule von Glas an, welche einen Metalldraht trägt, der umgebogen ist, und an dem Ende seines wagerecht laufenden Armes eine Hülse hat, in der ein an seinen Enden mit Kugeln versehener senkrechter Draht hinauf und hinab geschoben werden kann. Die Säule läßt sich mit dem von ihr getragenen Drahte um ihre Axe umdrehen. Das in die viereckige Vertiefung am Häuschen passende Bretchen (ein Rechteck) ist in einer seiner Diagonalen gleichfalls mit einem Drahte versehen, und kann entweder so in die Vertiefung gelegt werden, daß der auf ihm befindliche Draht die Metallleitungen am Häuschen mit einander verbindet, oder so, daß dieses nicht der Fall ist. Durch eine Kette, die in den Haken des Drahtes an der Leitung am Fuße des Häuschens eingehängt ist, setzt man die Leitung am letzteren mit der äußeren Belegung einer Leydener Flasche in Verbindung, und mittelst einer andern Kette verbindet man den Draht auf der Glassäule mit der inneren Seite derselben Flasche. Der mit den metallenen Kugeln versehene Draht an der Glassäule muß so gestellt sein, daß wenn die untere Kugel senkrecht über der Kugel der Leitung des Häuschens steht, der elektrische Funke zwischen beiden leicht überspringen kann. Hierauf dreht man die Säule so, daß ihre Kugeln (welche die elektrische Wolke vorstellen sollen), von der Leitung des Häuschens entfernt sind, ladet dann die Leydener Flasche mittelst

*) Poggend. Ann. Bd. LXXXII. S. 561. Journ. für prakt. Chem. Bd. LIII. S. 239 u. Pharm. Centralbl. 1851. S. 535.

einer Elektrisirmaschine und dreht die Glassäule langsam um ihre Axe. So wie sich die untere Kugel derselben genugsam der Kugel an der Leitung des Hauses genähert hat, springt der Funke zwischen beiden Kugeln über (der Blitz schlägt ein), und wenn nun das viereckige Bretchen so in die Vertiefung eingelegt ist, daß durch dasselbe die Leitung am Häuschen unterbrochen ist, so zeigt der elektrische Funke seine mechanische Kraft, indem er es herauswirft; ist hingegen das Bretchen so eingelegt, daß durch den diagonal über dasselbe geführten Draht die Leitung des Häuschens vervollständigt wird, so wird der elektrische Funke ohne das Bretchen zu erschüttern abgeleitet. Es ergiebt sich hieraus der Nutzen der Blitzableiter; denn in dem letzten Falle war das Häuschen mit einem solchen versehen, im ersten Falle nicht. Befand sich im ersten Falle eine explodirende Substanz z. B. etwas weniges Knallsilber an der inneren Seite des Bretchens, so wird die Wirkung des elektrischen Funkens bei unvollkommener Leitung noch stärker sein, indem das Knallsilber explodirt und das Bretchen zerschmettert. Um den Erfolg noch sicherer zu haben, kann man den Leitungsdraht an der innern Seite des Bretchens anbringen, so wie auch der Draht an dem Stücke Holz, welches das Häuschen vorstellt, nach innen liegen kann; dann geschieht die Explosion beim Ueberspringen des Funkens an der Stelle, wo die Leitung unterbrochen ist, bestimmter von innen nach außen.

Wenn man die Kugel von der Leitung des Häuschens abschraubt, so daß diese in eine Spitze endet, so springt der Funke gar nicht über, sondern die Entladung geschieht ohne Explosion, indem die Spitze die Elektricität gleichsam aufsaugt; deswegen meinte schon Franklin, daß ein Blitzableiter, welcher mit emporgerichteten Spitzen versehen sei, die Elektricität der Gewitterwolke gleichsam aufsauge und ohne daß ein Wetterstrahl erfolgt, ableite.

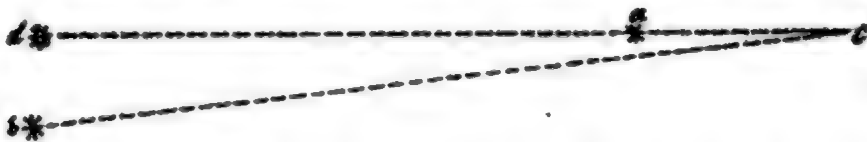
Noch genauer lassen sich die Erscheinungen, welche beim Einschlagen des Blitzes vorkommen, darstellen, wenn man ein wirkliches Häuschen von Pappe oder Holz macht, welches inwendig hohl ist, und in dessen Inneres durch den Schornstein ein oben mit einer Kugel versehener Draht führt. Man kann in das Innere des Häuschens leicht entzündliche Stoffe bringen, z. B. mit feinem Harzpulver bestreute Baumwolle. Springt dann der Funke über, indem die Leitung durch die leicht brennbaren Gegenstände unterbrochen ist, so entzündet sich dieselbe; wenn man dagegen die äußere Belegung der Leydener Flasche durch eine Kette, welche äußerlich am Hause heruntergeht, mit dem aus dem Schornsteine hervorragenden Drahte in Verbindung gesetzt, also das Häuschen mit einem Blitzableiter versehen hat, so zündet der Blitz nicht. Ueber die zweckmäßigste Form des Blitzableiters s. den Artikel Gewitter.

Doppelsalz, s. Salz.

Doppelspath, s. Brechung, doppelte.

Doppelsterne (lat. Stellae duplicae, franz. étoiles doubles, engl. double stars). Als man dahin gelangt war, mit dem Fernrohr den gestirnten Himmel zu betrachten, zeigte es sich bald, daß an manchen Stellen, wo man mit bloßen Augen nur einfache Sterne gesehen hatte, zwei oder auch mehrere Sterne nahe beisammen stehen. Die Nichtwahrnehmung ohne Fernrohr lag oft in dem zu schwachen Lichte des kleinern Sterns, öfterer noch in der zu großen Nähe beider Sterne, wodurch der Lichtglanz des einen sich mit dem des andern auf der Netzhaut

unseres Auges vermischte, so daß man bloß einen einzigen Stern erblickte. Man nannte seitdem solche durch das Fernrohr trennbare Sterne Doppelsterne oder, wenn es mehrere sind, vielfache Sterne. Diese beiden Benennungen beziehen sich daher nur auf die äußere Erscheinung und lassen unentschieden, ob diese Sterne wirklich in einer nahen gegenseitigen Verbindung stehen oder nicht, d. h. ob solche Fixsterne in der That nahe neben einander oder nur für unsern Standpunkt in beinahe gleicher Richtung hinter einander stehen. Sei in nachstehender Figur in



c das Auge des Beobachters, so können a und b eben so gut, wie d und b einen Doppelstern bilden, jedoch im erstern Falle offenbar einen optischen, im andern Falle einen physischen Doppelstern. Bei dem letztern ist der Begleiter oft größer als der Centralstern, oft jedoch fast eben nur so groß, immer aber von verschiedener Farbe, indessen die optischen Doppelsterne und einfachen Fixsterne bloß in einem weißlichen Lichte, seltner im gelblichen oder röthlichen Lichte glänzen.

Bis zum Jahre 1776 kannte man bloß wenige Doppelsterne und noch keiner von ihnen war näher untersucht. Auch genügten die damaligen Hülfsmittel durchaus nicht, mit einigem Erfolge die nähere Untersuchung der Sternpaare anzustellen. Von den damals schon bekannten Sternpaaren sind die merkwürdigsten: der am 7. Sept. 1700 von Gottfried Kirch zuerst gesehene im großen Bären Mizar, γ Jungfrau, Castor, γ Widder, δ Schlange, p Schlangenträger, α Wasserschlange, β Krebs, 61 Schwan, o Steinbock und der von Bradley entdeckte b Schütze. Da trat Christian Mayer plötzlich mit seinen Beobachtungen von Fixsterntrabanten auf, die ihm, da man sich eine unrichtige Vorstellung von der Sache machte, Widerspruch zuzogen und die dennoch begründet waren. Man bewies, daß ein mit geborgtem Lichte leuchtender und einen Fixstern umkreisender Planet nie von uns gesehen werden könne, und nahm an, daß nur dunkle Weltkörper um Sonnen kreisen könnten. Erschien aber auch der Name Fixsterntrabant für jene Zeit etwas gewagt, so hatten doch die Beobachtungen selbst ihren unbestrittenen Werth. Mayer gab in seinem Werke ein Verzeichniß der von ihm beobachteten 80 Sternpaare. Die meisten sind von ihm neu entdeckt. Er maß den Abstand in gerader Aufsteigung und Abweichung, freilich nur am Meridianinstrumente, und wies aus dieser und den Beobachtungen früherer Astronomen Veränderungen nach, welche sich ereignet hatten. Allerdings blieb er den Beweis schuldig, daß jene Veränderungen nicht von eigenen Bewegungen der Sterne im Weltraume herrührten; allein es genügte doch für jene Zeit, die Vorstellung angeregt zu haben.

Nun fing William Herschel an, mit seinen Riesenteleskopen in die Tiefen des Fixsternhimmels einzudringen. Seine Arbeiten begann er 1776 mit einer Messung des bekannten Trapezium σ Orion. Bis zum Jahr 1783 folgten hierauf seine Messungen von 450 Doppelsternen, eine Zahl, welche durch spätere Untersuchungen noch beträchtlich vermehrt wurde. Er zeigte, daß die unerwartet große Zahl dieser Gestirne, verbunden mit dem ungemein kleinen Winkel, unter dem wir sie erblicken (viele der von ihm entdeckten haben noch nicht eine Secunde

scheinbare Entfernung), nicht anzunehmen gestatte, daß diese Erscheinung überall nur eine in der zufälligen Stellung unseres Sonnensystems begründete sei, daß der Fall, wo zwei Sterne so genau in gerader Linie mit dem Sonnensysteme ständen, als hierzu erfordert wird, viel seltener sein müsse, daß daher die Mehrzahl der Doppelsterne wirklich in näherer Beziehung zu einander ständen und Systeme bildeten, in welchen man nach Jahren Bewegungen, ähnlich denjenigen, welche die Planeten und ihre Monde zeigen, zu entdecken hoffen dürfe. Man müsse also die Abstände und Positionswinkel der Sternpaare genau messen, um erstens bei den wirklichen Doppelsternen ihre Bahnen und gegenseitig wirkenden Kräfte kennen zu lernen, und zweitens bei den scheinbaren Sternpaaren den Unterschied ihrer jährlichen Parallaxen bestimmen zu können. Er hatte es nur seinen eigenen Untersuchungen zu danken, daß er nach 20 Jahren — 1802 bis 1804 — bei einer neuen Musterung der Sternpaare unzweifelhafte Aenderungen in deren Stellungen und dadurch seine Ansichten bestätigt fand. John Herschel setzte nach seines Vaters Tode mit James South bis zum Jahre 1833 in England und Frankreich, und später am Cap der guten Hoffnung, die Untersuchungen von Sternpaaren mit großem Eifer fort, um auch den noch so wenig bekannten südlichen Himmel in gleicher Absicht zu beobachten. Fast zu gleicher Zeit hat Dawes die feineren Sternpaare nach Abstand und Richtungswinkel gemessen. Auch Smith, Amici und andere Astronomen haben manche schätzbare Beobachtung dieser Art angestellt. Indessen sind die Sternwarten zu Dorpat und Königsberg die ersten, welche die Beobachtungen der zusammengesetzten Fixsterne nach einem regelmäßigen Plane bewirkten; ihnen folgten in den allerneuesten Zeiten München, Berlin, Leyden und Cincinnati. Bessel wandte zuerst das Heliometer zu diesen Betrachtungen an. Das Princip dieses Instruments, durch Verdoppelung der Bilder zu messen, giebt ihm für Unterschiedsbeobachtungen einen entschiedenen Vorzug nicht bloß vor Meridianinstrumenten und Kreismikrometern, sondern bei Abstandsmessungen selbst vor dem Fadenmikrometer, weil es keiner Erleuchtung der Fäden oder des Feldes bedarf. Insbesondere wählte Bessel, nach einer Verabredung mit Struve, 38 der hellern Doppelsterne aus, um durch häufig wiederholte und nahe gleichzeitige Beobachtung des Abstandes und der Richtung die Kraft der beiderseitigen Hülfsmittel, so wie die Uebereinstimmung ihrer Ergebnisse vergleichend zu prüfen. — Ferner begann Struve seine Hauptarbeit, als im Jahre 1824 der große Fraunhofer'sche Refractor nach Dorpat kam, und als Frucht derselben erschien von ihm 1837 das Werk: „Mensurae micrometricae stellarum duplicium etc.“, welches die wiederholten Mikrometermessungen von 2710 Doppelsternen enthält und als die wahre Grundlage für alle gegenwärtigen und zukünftigen derartigen Forschungen betrachtet werden kann. Ein künftiges Werk wird in Verbindung mit dem vorigen den späteren Astronomen die Mittel darbieten, wirkliche und scheinbare Sternpaare zu unterscheiden und, soweit es möglich, die Bahnen der erstern und die Parallaxen der letztern zu erforschen, wozu bis jetzt bloß ein schwacher Anfang gemacht werden konnte, weil jene Umlaufszeiten meistens nach Jahrtausenden berechnet werden müssen und die Parallaxen auf kleine Theile von Bogensecunden beschränkt zu sein scheinen. So hat Struve bereits den Versuch gemacht, die Parallaxe des Doppelsterns α Leier, den er entschieden für optisch hält, zu bestimmen und findet aus 96 Beobachtungen im Mittel $^{2613}/_{10000}$ Secunde, was auf eine Entfernung von 768000 Sonnenweiten führen würde.

Das erste bestimmte Rechnungssystem, nach welchem die elliptischen Elemente der Bahn eines Doppelsterns aus Beobachtungen seines Stellungs- oder Positionswinkels und seiner Distanz in verschiedenen Zeitpunkten abgeleitet werden können, hat Savary (Connais. de Temps 1822 und 1830) gegeben, und ihm sind in diesen Bemühungen Encke (Astron. Jahrb. für 1832), John Herschel (Philos. Transact. 1826. p. 371; Mem. of the Soc. Astron. T. V.) und besonders Mädler gefolgt. Die eigenen Bewegungen der Doppelsterne scheinen nach dem Newton'schen Gesetze der Attraction vor sich zu gehen, obgleich nach Mädler die Bewegung, wenigstens bei 70 p Ophiuchi, nicht das allgemeine Attractionsgesetz befolgt oder die Mittelpunkte der Figuren, welche jene beiden Sterne für uns bilden, nicht die Schwerpunkte der Massen sind.

Die Zahl der gemessenen Doppelsterne bei Struve beträgt nach den verschiedenen Classen und Ordnungen mit hellern Nebensternen: I. Classe 62, II. Cl. 116, III. Cl. 133, IV. Cl. 130, V. Cl. 54, VI. Cl. 52, VII. Cl. 54, VIII. Cl. 52. Summe 653. Mit schwächern Nebensternen: I. Cl. 29, II. Cl. 198. III. Cl. 402, IV. Cl. 452, V. Cl. 298, VI. Cl. 179, VIII. Cl. 429; im Ganzen 1987. Unter 2640 Sternpaaren sind mit inbegriffen: 64 dreifache Sterne, 3 vierfache Sterne, 1 fünffacher, nach neueren Forschungen sogar 7facher. Nimmt man dagegen für diese mehrfachen Sterne etwas weitere Grenzen an, so erhält man bis zu 75 Secunden hin überhaupt: 113 dreifache, 9 vierfache, 2 fünf- und mehrfache. Unter den hellern Doppelsternen sind in Bezug auf Farbe 596 Paare untersucht und diese ergeben folgende Verhältnisse: A) Sterne von gleicher Farbe: glänzendweiß 78 Paare, weiß 217, weißgelb 27, gelblich 35, gelb 11, goldfarbig 2, grün 5. Summe 375 Paare. B) Sterne von ähnlichen verwandten Farben: gelb und weiß 30 Paare, weiß und blau 53, beide gelb, aber von verschiedenem Grade 13, beide blau, von verschiedenem Grade 5. Summe 101 Paare. C) Sterne von verschiedenen Farben: gelb und blau 52 Paare, gelb und bläulich 52, grün und blau 16. Summe 120 Paare. Am häufigsten ist der Begleiter, wenn er überhaupt eine Farbe hat, bläulich. Der bläuliche Begleiter findet sich: bei weißen Hauptsternen 53, bei gelblichen 52, bei gelben 52, bei grünen 16 Mal. Zu den gelben sind auch hier die röthlichen gerechnet, sowie zu den blauen die aschfarbenen und purpurfarbenen. Von letzterer Art finden sich 13 Begleiter. Uebrigens hat die in Pulkowa 1840 und 1841 ausgeführte neue Durchforschung des nördlichen Himmels 514 Doppelsterne kennen gelehrt, von welchen einige drei- und mehrfach sind, die zum Theil früher nur als doppelt wahrgenommen worden.

Die Frage, ob diese Sternpaare wirkliche oder scheinbare Doppelsterne sind, kann nun auf zweierlei Weise beantwortet werden. Erstlich wenn aus der Gesammtzahl der Sterne innerhalb gewisser Größen nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung ermittelt wird, wie viel Sternpaare durchschnittlich in den verschiedenen Classen am Himmel vorkommen würden, wenn sie sämmtlich optische Doppelsterne wären. Die so gefundenen Zahlen, verglichen mit der Anzahl der wirklich vorhandenen, geben dann den allgemeinen Maßstab der Wahrscheinlichkeit für die eine oder die andere. Man kann aber auch zweitens aus dem gegenseitigen Verhalten der beiden Sterne jedes einzelnen Paares, namentlich aber aus ihren Bewegungen theils mit Gewißheit, theils mit größerer oder geringerer Wahrschein-

lichkeit für die eine oder die andere Annahme entscheiden. Wären die Fixsternparallaxen mit hinreichender Genauigkeit bekannt, so würde die einfachste Entscheidung die sein, daß Doppelsterne mit gleichen Parallaxen physische, mit verschiedenen optische wären. Auf Anwendung dieses Mittels aber wird man wohl für immer verzichten müssen, da es sich findet, daß für den von Struve untersuchten Theil des Himmels, der Wahrscheinlichkeit nach, an optischen Doppelsternen vorkommen würden:

in Classe	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
Doppelsterne	$^1/_{20}$	$^1/_7$	$^4/_7$	$2^1/_4$	$3^1/_4$	$5^1/_4$	15	21
und wirklich vorkommen	62	116	133	130	54	52	54	52
folglich unter ihnen . .	62	116	132	128	50	47	39	34

der Wahrscheinlichkeit nach physische sind.

Diese Untersuchung bezieht sich auf die helleren Doppelsterne und man kann annehmen, daß in der 1. und 2. Classe darnach alle, und in den übrigen bei weitem die meisten zu den physischen gehören, da unter 653 Paaren sich nur 48 optische, hingegen 605 vorfinden, die aller Wahrscheinlichkeit nach wirkliche Doppelsterne sind.

Für die schwächern Sterne ist es noch weniger möglich, zu einer Entscheidung zu gelangen; indeß ist leicht einzusehen, daß die Zahl der optischen bei ihnen nicht so erheblich, vielmehr bloß in der 7. und 8. Classe die meisten optisch sein dürften. Für die ersten Classen läßt sich dagegen nachweisen, daß die meisten auch von den schwächern Sternen wirklich doppelt sind, und so ergeben sich für die verschiedenen Classen folgende Verhältnißzahlen:

Classe	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
	1	3	12	48	80	112	320	448.

Struve hat in seinem Kataloge diese Untersuchung auch auf die Doppelsterne über 32 Secunden Abstand, so wie auf die dreifachen Sterne ausgedehnt. Beschränkt man sich bei jenen bis auf die 7. Größe als untere Grenze, so finden sich am Himmel nach den Harding'schen Karten:

						die Wahrscheinlichkeitsrechnung giebt
Doppelsterne von . . .	32″	bis	1′	Abstand	15	$1^1/_2$
„ „	1	„	2	„	15	$6^1/_2$
„ „	2	„	5	„	17	$7^3/_4$
„ „	5	„	10	„	38	$27^1/_2$
und bis zur 6. Gr. einschl.	10′	„	15′	„	25	$21^1/_2$

so daß auch unter diesen Sternpaaren, bis zu 5 Minuten Abstand hin, der physische Zusammenhang häufiger und für das einzelne Paar also wahrscheinlicher ist, als der bloß optische und daß nur bei den letztern von mehr als 5 Minuten Abstand die größere Wahrscheinlichkeit auf die entgegengesetzte Seite fällt.

Ueberhaupt zeigt der Fixsternhimmel an mehreren Stellen Anhäufungen sehr heller oder beträchtlich vieler Sterne, so daß also hier nicht nur Zufall stattfinden kann. Sind aber Sternpaare zu den wirklichen zu zählen, so werden sie auch eine gegenseitige Wirkung auf einander ausüben, welche die etwaigen Wirkungen dritter Körper weit überwiegt; sie werden also ein System bilden. In Folge dessen werden sie um einander oder um ihren gemeinschaftlichen Schwer-

punkt Bahnen beschreiben, wodurch ihre gegenseitigen Richtungswinkel und in den meisten Fällen auch ihr Abstand geändert werden muß. Sie werden ferner, wenn noch eine anderweitige Bewegung im Weltraume stattfindet, diese letztere gemeinschaftlich ausführen, wie Erde und Mond die Bewegung um die Sonne. Beides wird, wenn gleich oft erst nach vielen Jahren, durch Beobachtungen von der Erde aus erkannt und mithin die erwähnte thatsächliche Entscheidung herbeigeführt werden werden können.

Unter den 560 Sternen, welche Argelander in Bezug auf eigene Bewegung untersucht hat, kommen 53 Struve'sche Doppelsterne vor; unter diesen waren 41 Sterne bereits von Herschel beobachtet und deren eigene Bewegung außer Zweifel gesetzt worden. Sie konnten daher in Bezug auf die Natur ihres Doppelseins untersucht werden, und man hat gefunden, daß in 40 von diesen Sternpaaren der Haupt- und Nebenstern die gleiche eigene Bewegung verfolgt haben. Sie müssen folglich für Systeme gehalten werden, während nur einer, δ Füllen, sich als scheinbarer Doppelstern gezeigt hat.

Ferner finden sich 27 Sternpaare von 32 Secunden bis 7 Minuten Abstand, die sowohl in Argelander's Verzeichniß, als bei Struve und Herschel vorkommen. Von diesen ergeben sich 14 Sternpaare als wirkliche, 9 als scheinbare und 4 als noch zweifelhafte.

Den entscheidensten, freilich auch schwierigsten Beweis muß die Bewegung im Systeme selbst darbieten, und auf diese sind vorzugsweise die Bemühungen der Beobachter gerichtet gewesen. Wilhelm Herschel's Bestimmungen, so sehr sie auch alle frühern an Planmäßigkeit, Anzahl und Genauigkeit übertreffen, sind doch den neuern nicht gleichzusetzen; die neuern aber können, allein unter sich verglichen, wegen des kurzen Zeitraums nur in einer Minderzahl der Fälle eine Andeutung von einer solchen Bahnbewegung geben. Dennoch können jetzt schon etwa 500 aufgeführt werden, bei denen die Bewegung entschieden gewiß oder doch überwiegend wahrscheinlich stattfindet.

Ein besonderer Fall scheint noch Beachtung zu verdienen. Ein Stern kann um einen andern eine Bahn beschreiben und gleichwohl hinter demselben stehen, während ein anderer, der sich scheinbar in Ruhe befindet, eine solche Bahn wirklich beschreibt und folglich physisch ist.

Ein physisch verbundener Begleiter muß, während er an der eigenen Bewegung des Hauptsterns Theil nimmt, zugleich einen Kegelschnitt um denselben beschreiben. Beides kann sich schon in kurzer Zeit zeigen und, wie z. B. bei dem Sterne 61 Schwan, nach 5 bis 10 Jahren außer Zweifel gesetzt sein. Bei andern dagegen können so viele Jahrhunderte vergehen, ohne daß selbst durch die sorgfältigsten und zahlreichsten Beobachtungen eine Entscheidung herbeigeführt wird, sobald nämlich die kreisende Bewegung des Begleiters und die eigene des Hauptsterns unmerklich sind.

Unter der großen Zahl der Fixsterne finden sich etwa 1500, bei denen die eigene Bewegung gewiß ist; allein es werden Jahrhunderte noch verfließen, bevor von der Mehrzahl der bis jetzt aufgefundenen Doppelsterne die eigene Bewegung aufgefunden sein kann, da sich unter ihnen gar manche befinden mögen, die in einem Jahrhundert noch um keine Bogensecunde fortrücken. Wenn aber nun die kreisende Bewegung des Begleiters der eigenen des Hauptsterns, die folglich dem Begleiter auch zukommt, ganz oder nahezu entgegengesetzt, zugleich aber, linear

gemessen, ihr gleich ist, so wird man aus den Beobachtungen auf einen optischen Doppelstern schließen, wo doch in der That ein physischer vorhanden ist. Ebenso nahe liegt der umgekehrte Fall. Zwei hinter einander stehende Sterne haben jeder eine verschiedene eigene Bewegung, sie ist aber für beide so gering oder auch so wenig verschieden, daß ihre gegenseitige Stellung sich nach einem langen Zeitraum nur unbedeutend ändert, und noch wie vor Doppelsterne derselben Classe sind. Die scheinbare Bewegung des Begleiters wird nun zwar in diesem Falle in der That geradlinig sein, da man annehmen muß, daß die wenigen Bogensecunden, um welche wir Fixsterne fortrücken sehen, uns als gerade Linien erscheinen. Demnach wird man erst nach sehr langer Zeit wahrnehmen, daß die Bewegung des Nebensterns sich nicht auf den Hauptstern bezieht. Mit Gewißheit ist der wirkliche Doppelstern erst dann als solcher zu erkennen, wenn die Beobachtungen uns überzeugen, daß die Bahn seiner Bewegung eine stärkere Abweichung von der geraden Linie zeigt als die, welche Beobachtungsfehler bewirken können, und wenn diese Bahn zugleich gegen den Hauptstern hin hohl ist. Der scheinbare hingegen tritt dann hervor, wenn die Bahn des Begleiters als eine gerade Linie erkannt und zugleich so beträchtlich ist, daß man sie nicht mehr als einen Theil einer kreisenden Bahn anschauen kann. Man kann aber auch noch andere Wege der Betrachtung betreten, die sich sämmtlich in dem gleichen Ergebniß vereinigen werden. So finden sich z. B. unter den hellen Sternen mehr Doppelsterne, als unter den schwächern. Bei nur scheinbaren Doppelsternen würde gar kein Grund dieses Unterschiedes aufzufinden sein, bei physischen dagegen erklärt er sich natürlich. Denn wäre der geringere scheinbare Abstand ganz oder größtentheils Folge der größern Entfernung von der Erde, so wäre die erwähnte Verschiedenheit unerklärbar. Es muß also angenommen werden, daß die Doppelsterne von geringern scheinbaren Abständen der Mehrzahl nach einander auch näher stehen.

Zu demselben Schlusse ist Struve durch eine andere Betrachtung gelangt. Er fand nämlich, daß nicht nur die meisten, sondern auch die schnellsten Winkelbewegungen bei Sternen von geringen scheinbaren Abständen vorkommen. Wären nun diese weiter als andere von uns entfernt, so müßte offenbar das Gegentheil stattfinden. Die Eintheilung in Classen nach dem zunehmenden scheinbaren Abstand ist also keineswegs eine bloß äußerliche, für die Bequemlichkeit des Beobachters angeordnete, sondern sie hat eine wesentliche Beziehung auf die Natur der Doppelsterne selbst.

Hierher gehört auch die Bemerkung, daß in den drei- und mehrfachen Systemen gewöhnlich die entferntern Begleiter die schwächern sind, während die nähern sich oft wenig oder gar nicht vom Hauptstern unterscheiden, wie z. B. bei dem dreifachen Sterne ζ Krebs und ξ Waage. In den uns bekannten Systemen der Sonne, des Jupiter und Saturn herrscht der entgegengesetzte Grundsatz, denn die entfernten Körper sind hier die bedeutendern. Die Doppelsterne stehen überdies in einem ganz andern gegenseitigen Verhältniß, als die Planeten und Kometen unsers Sonnensystems, denn sie sind leuchtende Körper, die sich um andere ebenfalls leuchtende bewegen. Ueberhaupt darf man nicht vergessen, daß aus der größern oder geringern Helligkeit nur dann ein verhältnißmäßiger Unterschied der Oberfläche gefolgert werden kann, wenn man die Leuchtungsfähigkeit der beiden Sterne gleich setzt, was besonders bei verschiedenen Farben sehr unwahrscheinlich

ist. Zwar haben mehrere Astronomen die Thatsache einer Farbenverschiedenheit bei den Fixsternen in Zweifel gezogen und sie auf Rechnung von Nebenumständen oder der persönlichen Auffassung gesetzt. Vorzüglich hat man da, wo der gelbe oder rothe Stern einen blauen oder grünen Begleiter hat, die Erklärung in den sogenannten Ergänzungsfarben, wie Göthe's Farbenlehre sie darstellt, zu finden geglaubt. Es ist auch möglich, daß in einzelnen Fällen der Gegensatz dadurch scheinbar verstärkt wird. Es wird aber gewiß Niemand, der die Farben eines Doppelsterns, wie γ Delphin und α Herkules, einmal recht ins Auge gefaßt hat, einer solchen Erklärung beipflichten. Um sich völlig vom Gegentheile zu überzeugen, schlägt Struve vor, bei gefärbten Sternen von hinreichendem Abstande den einen aus dem Felde des Fernrohrs zu bringen. Eine bloße Ergänzungsfarbe des andern Sterns müßte nun in diesem Falle verschwinden, was jedoch keineswegs geschieht. Auch sind die Verbindungen selbst viel zu verschiedenartig, um eine solche Annahme zu gestatten. Nach diesem Allen können sämmtliche gegenwärtige Beobachtungen nur die ersten Anfänge in einer gänzlich neuen Wissenschaft sein, die mit jedem gelungenen Schritte unserem forschenden Geiste reichere Genüsse verspricht.

Diejenigen Leser, welche Alles, was die Doppelsterne überhaupt betrifft, zu erfahren wünschen, verweisen wir auf: G. A. Jahn's Geschichte der Astronomie (Leipzig 1844), II. Bd. S. 52—73, so wie auf C. L. Harding u. G. Wiesen kleine astronomische Ephemeriden für das Jahr 1833. S. 99—118. — Schließlich ist noch zu erwähnen, daß die Beobachtung der Doppelsterne, weil diese meistens zarte Lichtpunkte von verschiedener Distanz und Helligkeit vorstellen, mit Recht als Beurtheilungsmittel der Güte astronomischer Fernröhre jetzt benutzt wird. Fernröhre nämlich, welche z. B. ζ Ursae maj., γ Andromedae und ζ Lyrae kaum als Doppelstern erkennen lassen, können bloß als gewöhnliche, dagegen diejenigen als schon bessere Refractoren angesehen werden, welche z. B. π Bootis und ω Piscium als Doppelsterne zeigen. Ein Fernrohr muß als besonders vortrefflich betrachtet werden, das γ Virginis, η Plejadum und σ Coronae borealis deutlich als Doppelsterne erkennen läßt ꝛc. Wegen der drei und mehrfachen Sterne sehe man den Artikel Fixsterne. Jahn.

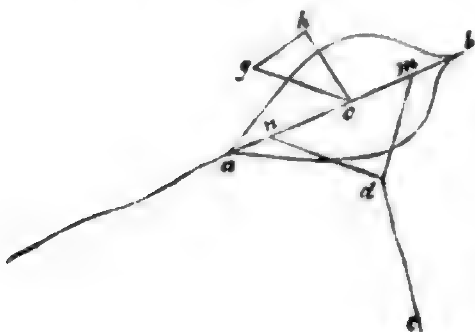
Doppeltöne, s. Schall.

Dosenbarometer, Aneroïdbarometer. Unter diesem Namen hat Vidi ein nach neuem Princip construirtes Barometer beschrieben. Es besteht aus einer ¼ Zoll tiefen Metallbüchse, welche luftleer gemacht und dann hermetisch verschlossen wird. Der obere Deckel ist dünn; seine Beweglichkeit wird durch concentrisch eingeritzte Ringe noch gesteigert, so daß er bei jeder Aenderung des Luftdruckes eine andere Lage annimmt. Die Dose ist in eine runde Büchse eingelegt und mit dem Mittelpunkt des beweglichen Bodens ein Hebelwerk verbunden, welches jede Bewegung 600—700 Mal vergrößert, auf einen Zeiger überträgt, der sich auf der Außenseite der Büchse an einer Theilung herbewegt. Einmal mit dem Quecksilberbarometer verglichen, können die Beobachtungen an demselben durch die am Aneroïdbarometer ersetzt werden, vorausgesetzt, daß man keine größere Genauigkeit in der Ablesung als eine Viertellinie verlangt. Dieses Barometer hat den Vorzug, daß es sich wegen seiner Form und Größe leicht transportiren läßt. Temperaturveränderungen sollen keinen merklichen Einfluß auf seinen Gang ausüben; nach anderen

Beobachtungen dagegen haben die Temperaturschwankungen zu großen Unregelmäßigkeiten Anlaß gegeben *).

Dossirung, s. Hydraulik.

Drache, elektrischer. Allgemein bekannt ist das mit dem Namen Drachen bezeichnete Spielwerk der Kinder, welches wesentlich in zwei kreuzweis über einander befestigten Stäben besteht, über die Papier gespannt ist. An dem Stabe a b ist, wie beistehende Figur zeigt, die Schnur m d n schlaff befestigt und an diese die Schnur d e. Man läßt nun den Drachen in einer schief gegen die Richtung des Windes geneigten Ebene aufsteigen, wobei man die Schnur d e in der Hand behält und allmälig dieselbe weiter und weiter von der Spindel, auf welche sie gewunden ist, loswickelt, so wie sich der Drache höher in die Luft erhebt. Zugleich läuft man anfangs gegen den Wind, indem man die Schnur stark anzieht, um den Stoß des Windes gegen die Fläche des Drachens noch mehr zu verstärken. Die Art, wie hier der Wind zu Hebung des Drachens wirkt, läßt sich nach Musschenbroek **) leicht in folgender Art erklären. Es sei c der Schwerpunkt des Drachens und c g die Richtung des Windes und zugleich die Strecke, welche derselbe in einer gewissen Zeiteinheit zurücklegt, so kann man sich diese Kraft, nach dem Satze von dem Parallelogramm der Kräfte, in die beiden Kräfte, g h und c h zerlegt denken; d. h. die Kraft, welche mit c g bezeichnet ist, wirkt auf den Schwerpunkt des Drachen in c ganz in derselben Art, wie zwei gleichzeitig auf den Schwerpunkt wirkende Kräfte g h und c h. Nun wird aber die eine dieser beiden Kräfte c h durch Festhaltung der Schnur d e unwirksam gemacht, und es bleibt deshalb nur noch die Kraft g h auf den Drachen wirksam, d. h. diejenige Kraft, welche ihn empor treibt. Der Drache steigt hiernach nicht mit der ganzen Kraft des Windes auf, sondern nur mit einer Kraft, welche sich zu dieser verhält = g h : c g. Am stärksten ist die Wirkung des Windes dann, wenn die auf die Fläche des Drachens gezogenen Normallinien mit der Richtung des Windes einen Winkel von 54° 34′ machen.



Franklin bediente sich des Drachens, um an der Schnur desselben die Elektricität der Luft herabzuleiten und dadurch zu beweisen, daß diese Elektricität, welche sich im Blitze äußert, ihrem Wesen nach nicht verschieden sei von der, welche wir mittelst unserer Elektrisirmaschinen hervorrufen. Ohne von diesen Versuchen Franklin's etwas zu wissen und fast gleichzeitig mit denselben stellte de Romas Versuche mit dem elektrischen Drachen an, welche er mehrere Jahre lang fortsetzte. Er hatte einen papiernen Dachen von $7^1/_2$ Fuß Höhe, 3 Fuß Breite und 18 Quadratfuß Fläche. Das Papier war geölt, und die Schnur, die von ihm herab nach dem Erdboden reichte, war von Hanf und nach Art der Violinsaiten mit Kupfer-

*) Compt. rend. T. XXIV. p. 975. Poggend. Ann. Bd. LXXIII. S. 620. Dingler's Polytechn. Journ. Bd. CXI. S. 107. Liebig's Jahresbericht pr. 1847 und 1848. S. 150.

**) Introd. ad philos. nat. p. 573.

draht umflochten. Diese hanfene Schnur war unten an eine seidene Schnur gebunden und diese ging unter ein Wetterdach, welches sie vor dem Regen schützte. An dem Ende der hanfenen Schnur hing eine blecherne Röhre, die als Conductor der Elektricität diente, um Funken auszuziehen. Den 7. Juni 1753 hörte de Romas im Osten donnern; er begann daher seine Versuche mit dem elektrischen Drachen. Dieser war an einer 780 Fuß langen Schnur 550 Fuß hoch gestiegen, als de Romas Funken aus dem Conductor erhielt, deren Schall man 200 Schritt weit hörte. Hierbei bediente er sich eines Entladers mit einer isolirenden Handhabe, von dem eine Kette nach dem Erdboden ging. Zugleich bemerkte de Romas, der sich in einer Entfernung von 3 Fuß von der Schnur befand, dasjenige Gefühl, welches man in der Nähe stark elektrischer Elektrisirmaschinen empfindet, als ob ihm nämlich das Gesicht mit Spinneweben überzogen würde. Der Conductor befand sich in einer Höhe von ungefähr 3 Fuß von dem Boden; 3 dort liegende Strohhalme erhoben sich gegen den Conductor und tanzten, ohne einander zu berühren, umher. Nach Verlauf von ungefähr einer Viertelstunde regnete es, und aus der Verstärkung der beschriebenen Empfindung und einem anhaltenden Prasseln schloß de Romas auf Zunahme der Elektricität. Da wurde endlich der längste Strohhalm, welcher 1 Fuß hoch war, von dem Conductor angezogen und veranlaßte 3 Explosionen, wobei ein Feuerstrahl von 8 Zoll Länge und 5 Linien Dicke erschien, mit einem Geräusche, welches dem Platzen einer Rakete oder dem Getöse glich, welches gegen einen gepflasterten Boden geworfene irdene Krüge erzeugen. Der Strohhalm wurde an der Schnur des Drachen 40—50 Toisen weit abwechselnd angezogen und abgestoßen, indem bei jedem Anziehen eine neue Explosion erfolgte. Die Elektricität wurde nun auch durch den Geruch wahrgenommen und man sah (am hellen Tage) die Schnur mit einem 3—4 Zoll im Durchmesser haltenden Lichtcylinder umgeben. Man fand unter dem Conductor ein Loch von 1 Zoll Tiefe und 1 Zoll Weite in der Erde, welches durch die Explosionen entstanden war. Später erhielt de Romas*) noch weit stärkere Funken aus der Schnur seines Drachens. Er erzählte, daß er bei einem Versuche in einer Stunde gegen 30 Feuerstrahlen erhalten habe, die eine Länge von 10 Fuß und eine Dicke von 1 Zoll und dabei einen Knall wie ein Pistolenschuß gegeben hätten. Später sind noch häufig Versuche mittelst des elektrischen Drachens angestellt worden, namentlich zu Untersuchung der Luftelektricität, indem schon de Romas beobachtet hatte, daß man auch dann Elektricität an dem Drachen wahrnehmen konnte, wenn keine Spur von einem Gewitter in der Atmosphäre zu bemerken war; besonders stellte Cavallo eine große Menge von Versuchen über Luftelektricität mit dem elektrischen Drachen an; derselbe empfiehlt dazu die gewöhnlichen kleinen Drachen von Papier, deren sich die Kinder als Spielwerk bedienen, etwa 4 Fuß lang und wenig über 2 Fuß breit. Das Papier soll man, damit es nicht vom Regen durchweicht werde, mit Leinölfirniß tränken. Er bediente sich einer Schnur, die aus zwei dünnen Bindfäden und einem dritten mit Lahn, d. h. mit einem dünnen Kupferblättchen überzogenen Faden aus Seide oder Leinen zusammengeflochten war. (S. d. Art. Luftelektricität.)

Der elektrische Drache zeigt zwar allerdings in vielen Fällen noch Zeichen von Elektricität, wo man an isolirten Stangen keine Spur derselben wahrnimmt, indeß

*) Mém. presentés. T. IV. p. 514.

kann er bei starker Elektricität gefährlich werden und sehr häufig steigt er nicht auf, so wie er sich in allen Fällen nicht gut handhaben läßt.

Bemerkenswerth ist noch, daß schon im Jahre 1749, also vor Franklin's und de Romas Versuchen, Wilson sich des Drachens bediente, aber nicht, um die Elektricität der Luft zu untersuchen, sondern in der Absicht, die Temperatur in der oberen Region der Atmosphäre zu bestimmen. Er ließ indeß nicht einen, sondern ein ganzes System von Drachen aufsteigen, indem er von mehreren Drachen von verschiedener Größe zuerst den kleinsten aufsteigen ließ und nachdem dieser eine beliebige Höhe erreicht hatte, seine Schnur an einen zweiten etwas größern Drachen band, der sich aufs Neue erhob u. s. f. Der oberste Drache erreichte eine sehr bedeutende Höhe, indem er im Sommer nicht selten zwischen den weißen lichten Wolken verschwand. Kämtz giebt den Rath, sich eines derartigen Systemes von Drachen zu bedienen, um die Elasticität sehr hoher Luftschichten bei mäßigem Winde zu untersuchen.

Drachenkopf, s. Mond.

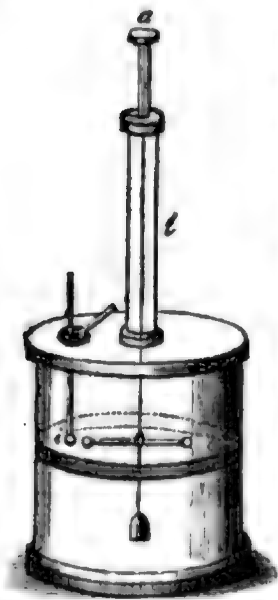
Drachenmonat, s. Monat.

Drachenschwanz, s. Mond.

Drehung, Widerstand dagegen, s Elasticität.

Drehungsgesetz des Windes, s. Wind.

Drehwage. Man versteht hierunter gewöhnlich ein von Coulomb*) erfundenes Instrument, vermittelst dessen man sehr geringe Kräfte messen kann. An einem durch ein Gewicht gespannten vertikalen Faden ist eine Nadel oder ein Stäbchen horizontal befestigt. Am innern Umfange des cylindrischen Glasgehäuses befindet sich ein getheilter Kreis, der in der Schwingungsebene der Nadel liegt und durch dessen Mittelpunkt der Faden geht. Wird nun die Nadel aus ihrer Gleichgewichtlage entfernt, so muß sich der Faden um seine verticale Axe drehen, wobei derselbe einen bestimmten Widerstand leistet, der mit dem Bestreben, in die dem Gleichgewicht entsprechende Lage zurückzukehren, identisch ist. Da aber dieser Widerstand dem Drehungsbogen oder dem Winkel, um welchen die Nadel aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird, proportional ist **), so dient derselbe zugleich als Maß für die ablenkende Kraft, welche auf das eine Ende der Nadel anziehend oder abstoßend wirkt. Hierbei pflegt man diejenige Kraft als Einheit anzunehmen, welche die Nadel um 1° abzulenken vermag.



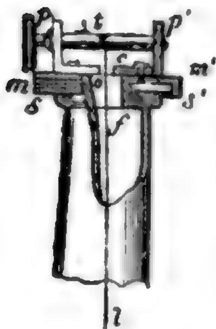
Der Faden ist in eine Zwinge eingeklemmt, welche vermittelst des Knopfes a um eine verticale Axe gedreht werden kann. Die Größe der Drehung giebt ein Zeiger auf einer Kreistheilung an, die sich am oberen Ende des engeren Cylinders befindet, so daß sich der Nadel jede beliebige Lage in ihrer Schwingungsebene geben läßt.

Doch pflegt man auch den Faden um ein horizontales, drehbares Stäbchen t (siehe Figur S. 549) zu winden, um ihn, so weit es nöthig, verlängern oder verkürzen zu können. Der engere Cylinder trägt oben eine kreisförmige Platte

*) Mém. des sav. Étrang. T. IX.; Mém. de l'Acad. 1784. p. 229.

**) Siehe den Artikel Elasticität.

ss', auf der sich eine zweite Scheibe mm' mit sanfter Reibung drehen läßt. In der Mitte der ersteren befindet sich eine dreieckige Oeffnung und zwar so, daß die eine Ecke derselben genau dem Mittelpunkte der Scheibe ss' entspricht. Gerade in dieser Ecke hängt der Faden herab. Am äußeren Umfange der Scheibe ss' ist eine Theilung angebracht, deren Index mit der beweglichen Scheibe mm' in Verbindung steht. Durch Herumdrehen der letzteren kann man nun das eine Ende der Nadel dem Körper i (s. Figur S. 548) nach Bedürfniß nähern oder davon entfernen. Die Größe der mit der Scheibe mm' vorgenommenen Drehung giebt der Index auf der Theilung der Platte ss' an.



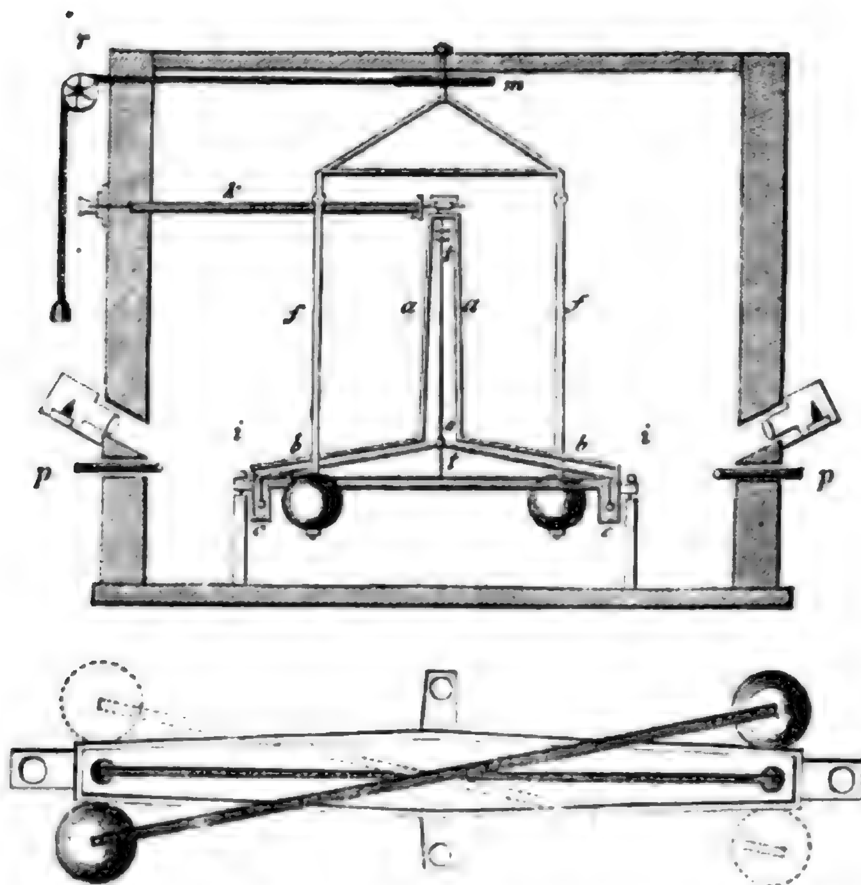
Der störende Einfluß der Zugluft ist durch das Glasgehäuse beseitigt.

Die Empfindlichkeit der Drehwage ist von der Erfüllung verschiedener Bedingungen abhängig. Die Substanz des Fadens ist nicht ohne Einfluß, was von selbst einleuchtet, wenn man bedenkt, daß die Elasticität verschiedener Stoffe eine sehr ungleiche ist. Nach Versuchen von Bennet *) und anderer läßt sich ein Spinnenfaden, an dem ein leichter Hebelarm aufgehängt ist, mehrere tausendmale um seine Axe drehen, ohne ein merkliches Streben nach Zurückdrehung in seine anfängliche Gleichgewichtslage zu zeigen. Solche Fäden sind also für die Drehwage untauglich, können aber gleichwohl nach Michell **) zum Messen der geringsten Kräfte gebraucht werden, wenn man sie mit einer Magnetnadel verbindet, die stets in eine bestimmte Lage zurückzukehren strebt. Besser zum Gebrauche in der Drehwage sind ungedrehte Seidenfäden, am zweckmäßigsten aber Drähte aus Messing oder Silber. Was den Einfluß der Länge und Dicke der Drähte betrifft, so hat Coulomb ermittelt ***), daß der Widerstand, welchen dieselben gegen eine Drehung um ihre Axe leisten, im umgekehrten Verhältniß mit ihrer Länge und im geraden mit der vierten Potenz des Halbmessers oder der Dicke steht. Je kleiner also die zu messenden Kräfte sind, desto länger und dünner wird der Draht sein müssen. Dann ist auch noch die Länge der Nadel oder des Wagebalkens zu berücksichtigen. Es ist leicht einzusehen, daß derselbe um so länger sein muß, je geringer die zu messende Kraft ist, weil es nämlich hier darauf ankommt, den Ablenkungsbogen möglichst auffallend zu machen.

Die Coulomb'sche Drehwage wird vorzugsweise zur Messung elektrischer und magnetischer Kräfte benutzt. Wie dies geschieht, soll in den betreffenden Artikeln aus einander gesetzt werden.

Es ist bereits im Artikel Anziehung (Bd. I. S. 242) bemerkt worden, daß Cavendish sich einer Art Drehwage bediente, um die Anziehung kleiner Massen zu ermitteln. Die erste Idee zur Construction dieses Apparates rührt von Michell her. Auch hier ist (s. nachstehende Fig.) an einem verticalen Metallfaden ein dünner Hebel in seiner Mitte aufgehängt, an dessen Enden sich zwei kleine Metallkugeln befinden. Die letzteren hängen an einem Silberfaden, welcher mit den Enden des Hebels und bei o mit dem verticalen Silberfaden tt in Verbindung steht. Der obere

*) Young lectures on Nat. phil. T. I. p. 141.
**) Priestley, Geschichte der Optik, übers. von Klügel. S. 282 ff.
***) Siehe den Artikel Elasticität.



Träger des letztern kann durch den Draht k gedreht werden. Um den Hebel gegen Luftströmungen hinreichend zu schützen, ist er in einem Gehäuse a b c eingeschlossen, dessen Durchschnitt die Figur zeigt. Ueberdies befindet sich der ganze Apparat in einer ringsum verschlossenen Kammer, die aber durch einige kleine Oeffnungen von außen her auf passende Weise erleuchtet werden kann. Zwei größere Metallkugeln, aus demselben Stoff (Blei) wie die kleinern, sind an zwei kupfernen Stäben f f befestigt, welche von einem Balken des Zimmers herabhängen und sich um eine verticale Axe drehen lassen. Die Drehung geschieht von außen her durch eine über die Scheibe m und die Rolle r gehende Schnur. Hierdurch können die größern Kugeln den kleinern bis auf eine gewisse Entfernung genähert werden. Sobald nun diese verschiedenen Kugeln eine gegenseitige Lage, wie sie die zweite Figur deutlich zeigt, erlangt haben, entsteht in Folge der Anziehung zwischen ihren Massen eine Drehung des Hebels, so daß dieser, wegen des Widerstandes des Fadens, der in die Gleichgewichtslage zurückzukehren strebt, ähnlich wie ein horizontales Pendel eine Reihe von Schwingungen macht, die sich durch die Fernröhre p p beobachten lassen. Um die Lage des Hebels genauer bestimmen zu können, befinden sich Verniere an seinen Enden, welche nahe über einer elfenbeinenen Scale hinlaufen. Dieselben werden durch Lampenflammen beleuchtet, welche ihr Licht auf convexe Linsen werfen, von denen es zu den Einschnitten i i im Gehäuse des Hebels gelangt.

Cavendish stellte seine Versuche vorzugsweise in der Absicht an, um die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen. Zu diesem Behufe muß man die Schwingungen des Hebels mit den Schwingungen eines gewöhnlichen Pendels vergleichen, woraus sich zunächst das Verhältniß der Anziehung einer jeden der größeren Kugeln (durch welche doch die Schwingungen des Hebels bewirkt werden) zur

Gesammtanziehung der Erde oder zur Schwere und dann auch das Verhältniß der Masse einer solchen Kugel zu der der Erde ergiebt. Siehe den Artikel **Erde**.

Drosometer (von δρόσος, Thau) bezeichnet ein Instrument, das zur Bestimmung der Menge des Thaues dient, der sich in einer gewissen Zeit gebildet hat. Es besteht im Allgemeinen aus einer empfindlichen Wage, die an ihrem einen Ende eine Platte, die sich sehr leicht mit Thau beschlägt, an ihrem anderen Ende aber ein Gegengewicht trägt, das bei weitem weniger für den Thau empfänglich ist. An die Stelle der Platte bringt man auch mit Vortheil ein Büschel Wolle oder Eiderdunen, weil diese Stoffe den Thau mit besonderer Vorliebe aufnehmen. Siehe den Artikel **Thau**.

Druck (Pressio; Pression; Pressure) ist eine Kraftäußerung, welche bei der unmittelbaren Berührung zweier in relativer Ruhe befindlicher Körper hervortritt und vermöge deren der eine Körper in dem anderen eine Verminderung des Volumens, eine Veränderung der Form, des Ortes oder der Geschwindigkeit nach einer bestimmten Richtung hervorzubringen strebt. Die Bedingung relativer Ruhe unterscheidet den Druck vom Stoße, der die Bewegung zu seiner nothwendigen Voraussetzung hat. Wenn ein Druck oder Zug während einer gewissen Zeit auf eine bestimmte **Masse** eingewirkt und **Bewegung** in derselben hervorgebracht hat, so besitzt diese Masse in Folge der erlangten Geschwindigkeit eine gewisse Wirkungsgröße, die sie an eine zweite entweder in Ruhe oder in Bewegung befindliche Masse in unmeßbar kurzer Zeit abgeben kann. Eine solche Mittheilung der durch Geschwindigkeit bedingten Wirkungsgröße beim Zusammentreffen verschiedener Massen charakterisirt den Stoß, dem also immer eine Bewegung vorausgeht. Man erkennt aber auch, daß der Stoß stets einen bestimmten, obschon nur sehr kurze Zeit dauernden Druck herbeiführen muß, der eben dann stattfindet, wenn die nun unmittelbar sich berührenden Körper nach dem Verhältniß ihrer Massen und der Geschwindigkeiten, mit denen sie zusammentreffen, auf einander einwirken *). Sobald diese gegenseitige Einwirkung ihre Grenze erreicht, ist auch der Stoß vollendet. Der Druck erscheint häufig, wenn nicht immer, als aufgehaltene oder verhinderte Bewegung, und ist jedenfalls da vorhanden, wo zwei Massen einander den Raum streitig machen, indem jede in den Raum der andern einzudringen strebt. Mit diesem Streben ist der Druck unmittelbar verbunden. Es versteht sich übrigens von selbst, daß jeder Körper nicht bloß drückt, sondern auch gedrückt wird; denn hier wie überall im Gebiete der Natur gilt der Satz: keine Action ohne Reaction. Wenn nun auch der Stoß den Druck stets zur Folge hat, so ist er doch nicht des letztern nothwendige Bedingung; vielmehr kann er selbst als ein starker Druck von unendlich kurzer Dauer bezeichnet werden, wie das wohl auch zu geschehen pflegt. Der Druck kann ohne vorausgehende Bewegung veranlaßt werden, z. B. wenn man zwei Massen, die sich unmittelbar berühren, Bewegungen im entgegengesetzten Sinne mitzutheilen sucht. Wird eine fallende Masse von einem anderen Körper, der eine feste Unterlage darstellt, aufgefangen; so wird auf diese in dem Moment, wo die Masse auffällt, ein bestimmter Druck ausgeübt, welcher von dem, was man Stoß nennt, nicht wohl zu unterscheiden ist. Die Unterlage hat aber auch nach diesem Stoße (beim Auffallen) einen fortdauernden Druck aus-

*) Siehe d. Art. **Bewegung**. Bd. I. S. 838.

zuhalten, weil die Theilchen jener Masse beständig von der Schwere afficirt werden und deshalb auch ihr Streben zu fallen beibehalten. Die wirkliche Bewegung dieser Masse ist aufgehoben durch den Widerstand der Unterlage, aber aus dem fortdauernden Streben zur Bewegung erwächst der Druck auf die Unterlage und aus deren Widerstand ein Gegendruck. Dasselbe Verhältniß findet statt, wenn man einen Körper ruhig auf eine feste Unterlage legt, ohne ihn von einer gewissen Höhe herabfallen zu lassen, so daß also hier dem Drucke keine wirkliche Bewegung und somit auch kein Stoß vorausgeht. Wir haben beim Stoße mit sogenannten lebendigen Kräften zu thun, deren Wirkungsfähigkeit durch das Product aus der Masse in das Quadrat der Geschwindigkeit gemessen wird *). Im Gegensatz zur lebendigen Kraft, die eine bewegte Masse entwickelt, nennen Manche den Druck eine todte Kraft, weil hierbei die Wirksamkeit einer Kraft und das Bestreben Bewegung hervorzubringen, zwar unverkennbar sei, ohne daß jedoch eine Bewegung hervorgebracht oder die Aeußerung der Kraft überhaupt wahrnehmbar werde. Das Unwissenschaftliche in dieser Unterscheidung liegt klar genug zu Tage; denn eine Kraft, die Bewegung hervorzubringen strebt, ist gewiß keine todte, ganz abgesehen davon, daß der Begriff der todten Kraft als ein sich selbst widersprechender zu verwerfen ist. Dazu kommt, daß in unzähligen Fällen durch den Druck wirklich Bewegung hervorgebracht wird, sobald das zwischen den verschiedenen Druckkräften bestehende Gleichgewicht aufgehoben ist. Wohl aber kann man in der Mechanik von lebendigen und todten Massen sprechen, in sofern man alles, was eine mechanische Wirkungsfähigkeit besitzt, lebendig, und alles, was eine solche Fähigkeit nicht besitzt, todt nennen darf; so daß also ein für sich ruhender Körper ein todter, ein in Bewegung befindlicher dagegen ein lebendiger genannt werden kann **). Ein gedrückter Körper ist aber hiernach ebenso wenig als der drückende Körper todt zu nennen, selbst wenn beide gegen einander in Ruhe sind, und es braucht in den meisten Fällen bloß das Gleichgewicht aufgehoben zu werden, um aus der beim Drucke schon vorhandenen Intention zur Bewegung diese letztere hervorgehen zu lassen. Der Druck, den ein Körper in der Ruhe ausübt, wird allerdings erst dann zu einer sogenannten lebendigen Kraft, wenn der zweite Factor, die Geschwindigkeit hinzutritt ***).

Bei der Bestimmung des Druckes als Ursache der Bewegung, oder als das Bestreben, Bewegung hervorzubringen, bleibt unberücksichtigt, ob die Bewegung wirklich erfolgt oder nicht, so daß weder die eigene Bewegung des drückenden Körpers, noch die, welche sie dem gedrückten Körper ebenso mittheilen, als nicht mittheilen kann, in Betracht kommt ****).

Die Ruhe, in welcher der drückende und der ihn berührende gedrückte Körper sich befinden, ist relativ, weil beide nur auf einander bezogen in Ruhe sind, während sie sich mit einander bewegen und eine Wirkungsgröße entwickeln können, die unabhängig von der Bestimmung des zwischen ihnen bestehenden

---

*) Siehe d. Art. Kraft.

**) Redtenbacher, Principien der Mechanik und des Maschinenbaues. (Mannheim 1852) S. 77.

***) Das Nähere darüber siehe in dem Artikel Bewegung und besonders in dem Artikel Kraft.

****) Gehler's Phys. Wörterb. Bd. II. S. 608.

Druckes wieder für sich zu bestimmen ist. Schon der Sprachgebrauch weist darauf hin, daß der Druck keine absolute, sondern nur eine relative Ruhe verlangt und die Bewegung nicht ausschließt. Denn wir sagen ganz richtig, es werde ein Körper durch eine Last herabgedrückt oder niedergedrückt.

Einige Beispiele mögen diese Begriffsbestimmung des Druckes näher erläutern. Ein Gewicht, das auf einen Wagen geladen ist, drückt auf seine Unterlage, ohne diese merklich zu bewegen. Gewicht und Unterlage sind in relativer Ruhe, während der Wagen selbst nach beliebiger Richtung sich in Folge eines anderen Druckes bewegen kann, und dadurch für sich eine Wirkungsgröße entwickelt, die als Stoß an einen zweiten Wagen abgegeben wird, sobald ein solcher der Bewegung hemmend entgegen tritt. Ebenso drückt der Dampf von gewisser Spannung auf den Kolben eines treibenden Dampfcylinders und bringt in Folge dessen Bewegung des Kolbens hervor. Dabei sind aber Dampf und Kolben so lange in relativer Ruhe gegen einander, als beide dieselbe Geschwindigkeit haben. Man kann folglich den Dampfdruck direct am Kolben messen, die Wirkungsgröße aber nur dadurch, daß man die mittlere Geschwindigkeit des Kolbens, die eine Folge des Dampfdruckes ist, als Factor eintreten läßt. Sobald aber der Kolben dem Dampfe zeitweise vorauseilt, oder umgekehrt, so entsteht bei erneutem Zusammentreffen beider ein Stoß, mit theilweisem Austausch der lebendigen Kräfte *). — Ein Gewicht drückt ferner auf eine Wagschale und bringt diese zum Sinken; eine Wassermasse drückt endlich gegen die Zellenwände eines Wasserrades und verursacht dadurch die Umdrehung des Rades. In beiden Fällen ist der drückende Körper mit dem gedrückten in Bewegung, aber da sie beide mit gleicher Geschwindigkeit und in gleicher Richtung sich bewegen, so sind sie zu einander in relativer Ruhe. Wird aber das Gewicht auf die ruhende Wagschale geworfen, oder fällt das Wasser mit einer Geschwindigkeit auf die Radzelle, welche größer ist als die des schon in Bewegung befindlichen Rades, so stößt das Gewicht auf die Schale, das Wasser auf das Rad und es erfolgt ein Austausch der, durch den Wurf oder Fall entwickelten lebendigen Kräfte.

Wir haben endlich in unserer Definition des Druckes ausgesprochen, daß derselbe eine Verminderung des Volumens nach der Richtung des Angriffspunktes der Kraft, also eine Zusammendrückung oder Compression hervorzubringen suche. Dadurch unterscheidet sich der Druck vom Zug, welcher in der Richtung des Angriffspunktes seiner Kraft eine Vergrößerung des Volumens, oder eine Ausdehnung hervorzubringen sucht.

Ob aber diese Volumenverminderung, oder Aenderung der Form, des Ortes und der Geschwindigkeit durch den Druck wirklich hervorgebracht, oder nur angestrebt wird, hängt lediglich von der Natur und Größe der Massen gegen einander, so wie von der Größe des Druckes überhaupt ab. Von der Natur der Massen in sofern, als sie nur eine Volumens- oder Formveränderung erleiden können, wenn sie überhaupt compressibel sind. Absolute feste und unelastische Körper giebt es allerdings nicht, so daß in diesem Sinne jeder Druck eine, wenn auch noch so kleine Form- und Volumensänderung hervorbringen muß. Die Größe der Massen und des Druckes kommt in Betracht, weil der drückende

*) Siehe d. Art. Dampfmaschine, Cap. VI. §. 41. S. 381.

Körper gegen den gedrückten so klein sein kann, daß er die größere träge Masse scheinbar nicht zu bewegen vermag. Eine Wasser- oder Dampfmasse kann z. B. gegen Gefäßwände drücken, ohne dieselben im normalen Falle auszubiegen oder zu zersprengen; ein Mensch kann gegen einen beladenen Lastwagen drücken, ohne ihn bewegen zu können, weil in beiden Fällen der Druck mit dem Widerstand in keinem Verhältniß steht. Sobald aber der eine der betreffenden Körper der Einwirkung des anderen nicht hinreichenden Widerstand zu leisten vermag, beginnt eine Bewegung oder Bewegungsänderung. Dieselbe kann zunächst nur in einer Molecularbewegung bestehen, welche die Volumens- oder Formänderung hervorruft; oder sie kann nur Orts- oder Geschwindigkeitsänderung hervorbringen, ohne bemerkbare Molecularaction; oder der Druck kann Form- und Ortsveränderung zugleich bewirken. Es kann sich dabei ereignen, daß der drückende Körper eine Molecularänderung erleidet, während der gedrückte scheinbar ungeändert bleibt, oder daß endlich der gedrückte Körper eine Ortsveränderung erleidet, während der drückende erst einer Formänderung unterliegen muß, bevor die äußere Bewegung erfolgt.

Druck und Zug erscheinen überhaupt als die einzigen unmittelbaren Kraftäußerungen sich berührender Körper. Einen Zug, welcher in die Ferne ausgeübt wird, nennen wir Anziehung oder Attraction und einen auf Entfernung wirkenden Druck, Abstoßung oder Repulsion. Es ist hier nicht der Ort, sich auf Untersuchungen über das das Wesen der Kräfte, so wie darüber einzulassen, ob eine „unmittelbare Wirkung in die Ferne" überhaupt möglich und anzunehmen nöthig sei oder nicht. Die Herbart'sche Schule *) verwirft den Begriff selbstständiger Kräfte und stellt den Satz auf: „die Elemente selbst, ganz und ungetheilt, wie sie sind, werden Kräfte, oder sind in sofern Kräfte, als sie mit anderen von entgegengesetzter Qualität zusammen sind." Das Princip aller Kraftäußerung liegt hiernach in dem Gegensatz der Elemente, die sich zum Theil durchdringen können und aus denen die Materie zusammengesetzt ist. Ein Körper leistet gegen einen anderen, der in ihn einzudringen sucht, einen bestimmten Widerstand in Folge der gegenseitigen Reactionen, welche zwischen seinen Elementen stattfinden und auf denen eben der Zusammenhang der letzteren beruht. Dieser Zusammenhang ist es, welcher sich auf Grund jener Reactionen während des Druckes zu behaupten strebt **).

Umgekehrt hat man versucht, den Druck als die Wirkung einer den Körper treibenden Kraft zu betrachten und demgemäß auch das, was demselben Widerstand leistet, für eine besondere Kraft anzusehen ***). Munke ****) hält die Annahme der letzteren für überflüssig und sieht den Grund dessen, was dem Eindringen der Körper beim Drucke sich entgegen setzt und Widerstand leistet, ebenfalls in dem

---

*) Siehe Herbart's Metaphysik, dessen Encyklopädie und Vermischte Schriften, Edit. v. Hartenstein und des letzteren Probleme der Metaphysik.

**) Eine übersichtliche Ausführung der Herbart'schen Principien in Anwendung auf die Physik, giebt Cornelius in seiner „Naturlehre nach ihrem jetzigen Standpunkte mit Rücksicht auf den innern Zusammenhang der Erscheinungen." (Leipzig 1849.) Man sehe besonders die Vorrede, den 1. Abschnitt und die Einleitung in den 2. Theil.

***) Fischer's Wörterbuch Bd. I. Art. Druck.

****) Gehler's Phys. Wörterb. Bd. II. S. 609.

Zusammenhange ihrer Theilchen unter einander, welcher genügend widersteht oder überwunden wird, wenn die Anziehung als Ursache dieses Zusammenhanges geringer ist als der, ein Zerreißen der Theilchen bewirkende Druck. So viel leuchtet ohne Weiteres ein, daß der eigentlichen Druckäußerung, welche dann stattfindet, wenn die eine Masse in den Raum der andern einzudringen sucht, und wobei eine Thätigkeit der Theilchen der sich drückenden Körper nicht ausgeschlossen werden kann, etwas vorausgehen muß, was man gemeinhin als Kraft bezeichnet. Gewöhnlich ist es das Gewicht, eine Wirkung der Schwere, welche den Druck da veranlaßt, wo ein Körper auf einem andern ruht. Wenn aber Körper, sowohl feste als auch flüssige, einen Druck ausüben, der nicht von der Schwere, also nicht von ihrem Gewichte abhängt, so ist derselbe als eine Folge von Moleculartthätigkeiten anzusehen. So kann ein Druck hervorgebracht werden durch einen Magnet, welcher Eisen anzieht; durch einen Körper, der durch die Wärme ausgedehnt wird; durch eine Dampfmasse, die vermöge der zwischen ihren Molekülen bestehenden und von der Wärme herrührenden Thätigkeit in Spannung ist; durch eine Feder oder einen anderen elastischen Körper, dessen innere Theilchen sich in Spannung befinden; durch die Muskelthätigkeit der Menschen und Thiere ꝛc. Man spricht daher auch von magnetischer Kraft, Wärmekraft, von Federkraft, Muskelkraft ꝛc. Aber alle diese Kräfte sind im Grunde nur begleitende Folgen einer bereits vorhandenen Wirkung, welche von Molekularthätigkeiten herrührt und die allerdings wieder zu einer bewegenden Ursache werden kann. Da diese Thätigkeiten im Innern der Körper vorgehen, so war es natürlich, ihre Wirkungsgrößen als unmittelbare Kraftäußerungen anzusehen. Ob sie selbst aber selbstständigen (für sich bestehenden) Kräften zugeschrieben werden dürfen, ist eine Frage, welche die Erfahrung geradezu weder bejaht noch verneint.

Derartige Untersuchungen führen nothwendig, wenigstens theilweise, in das Gebiet der Spekulation, die wir hier zu vermeiden und an den gehörigen Ort zu verweisen haben *). Uns genügt es hier, jede Ursache, welche Bewegung hervorbringt oder hervorzubringen strebt, Kraft zu nennen, wobei wir natürlich unentschieden lassen, ob dieselbe eine selbstständige Existenz besitzt oder vielmehr als bloße Thätigkeit der Elemente der Materie zu betrachten ist.

In der Naturlehre, und namentlich in der Mechanik ist es von Wichtigkeit, die bewegenden Ursachen, ohne Rücksicht auf ihre besondere Beschaffenheit, mit einander vergleichen oder messen zu können. Dieses Messen kann theils in einer relativen Vergleichung der verschiedenen Kräfte, theils in einer absoluten Bestimmung derselben bestehen. Zu diesem Zweck ist eine Einheit nöthig. Als Einheit der Kräfte kann man irgend einen Zug oder Druck annehmen, z. B. jenen, den ein Körper, dessen Gewicht = 1 Kilogramm ist, auf eine Unterlage ausübt. Die Intensität einer Kraftäußerung ist dann = 2, 3, 4 zu setzen, wenn sie, auf einen Körper von 2, 3, 4 Kilogramm Gewicht nach verticaler Richtung aufwärts wirkend, im Stande ist, das Fallen desselben zu verhindern **).

Diese Messung der Kräfte nach ihren unmittelbaren Aeußerungen wird in

*) Siehe d. Art. Kraft und Materie.
**) Redtenbacher a. a. O. S. 24.

der Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte, der Statik, allgemein befolgt *). In der Bewegungslehre oder Mechanik aber werden die Kräfte von vielen Autoren durch die Geschwindigkeit gemessen, welche sie in den Körpern hervorbringen **). Nach dieser Art zu messen erklärt man als Einheit der Kräfte diejenige Kraft, welche, in der Zeiteinheit auf eine Masseneinheit wirkend, eine Endgeschwindigkeit gleich der Längeneinheit hervorbringt. Am klarsten und einfachsten ist es aber immer, wenn man die Kräfte unter allen Umständen direct durch den Zug oder Druck mißt, welchen sie hervorbringen. Man hat dann nur die Frage zu stellen, welche Geschwindigkeit eine Masse erlangt, wenn man auf dieselbe einen Druck von einer bestimmten Anzahl Kilogramm durch eine gewisse Zeit einwirken läßt. Diese Messungsart hat Redtenbacher in seinen Werken durchgeführt ***). Die Untersuchungen gehören aber nicht hierher, sondern sind in den betreffenden Artikeln nachzusehen ****).

Ein ausgeübter Druck rührt her entweder von einem festen oder flüssigen Körper, und im letzteren Falle entweder von einem tropfbar flüssigen oder expansibeln. Demnach sind die Gesetze des Druckes, sofern er bei den verschiedenen Aggregatzuständen unter verschiedenen Gesichtspunkten zu betrachten ist, in der Statik, Hydrostatik und Aërostatik, so wie das Verhalten specieller expansibler Flüssigkeiten in den Artikeln Dampf und Luft zu behandeln. Die Theorie des Druckes halbflüssiger Körper — wie man die pulverförmigen oder körnigen Substanzen nennt, die, wie Sand, Schrot, lockere Erde, Schlamm ꝛc. noch einige Cohäsion und Adhäsion zeigen und überdies der Reibung unterliegen *****), — ist gleichfalls in die Statik zu verweisen, woselbst auch die Theorie des Erddruckes, des Gleichgewichts der Gewölbe und Lager, so wie der Stabilität der Futtermauern und Widerlagen zu behandeln ist †).

Dennoch giebt es einige allgemeine Definitionen, Axiome und Gesetze des Druckes, welche mehr oder weniger für alle Körper gelten, die wir deshalb hier anzuführen haben.

I. Definitionen.

1) Der drückende Körper wirkt nicht auf sich selbst, sondern immer nur auf einen zweiten Körper, den man eben den gedrückten nennt und so umgekehrt nach dem Princip der Wechselwirkung. Die Theile eines Körpers können allerdings auch gegen einander drücken und dabei eine Wirkungsgröße entwickeln, wie wir es bei den elastischen Körpern überhaupt und namentlich bei den expansibeln Flüssigkeiten deutlich wahrnehmen. Aber bei diesen Moleculartätigkeiten im Innern eines Körpers ist jedes Massentheilchen oder Molekul als ein für sich bestehendes Ganze zu betrachten, das sich in einem gewissen Sinne sowohl passiv als activ verhält, in sofern es nämlich nicht bloß Druck von außen (oder von einem anderen Massentheilchen) erleidet, sondern auch gegen denselben zurückwirkt.

---

*) Siehe d. Art. Statik.

**) Siehe d. Art. Bewegung und Mechanik.

***) Redtenbacher a. a. O. Bewegung der Massen. S. 41 u. ff. und Messen der Thätigkeit der Kräfte S. 51 ff.

****) Siehe d. Art. Kraft, Dynamometer, Mechanik und Wirkungsgröße.

*****) Siehe d. Art. Adhäsion, Cohäsion und Reibung.

†) Siehe auch die Art. Gleichgewicht und Stabilität.

2) Angriffspunkt der Kraft (Druck oder Zug) heißt der Punkt der gedrückten trägen Masse, auf welchen die Kraft der drückenden Masse unmittelbar einwirkt.

3) Richtung des Druckes oder Kraftrichtung überhaupt heißt die gerade Linie, in welcher die Kraft den Angriffspunkt, wenn dieser vereinzelt vorhanden und anfangs in Ruhe wäre, fortbewegen würde. Man kann dabei eine positive und negative Kraftrichtung unterscheiden, je nach der Bewegungsrichtung, wie Weißbach vorgeschlagen hat *). Je nachdem der Angriffspunkt der Kraft vorwärts (positiv) oder rückwärts (negativ) schreitet, entwickelt die Kraft eine Thätigkeit, welche im ersteren Falle die beabsichtigte Bewegung zu begünstigen, im letzteren dagegen zu hindern sucht. Redtenbacher **) nennt deshalb eine Thätigkeit, bei welcher der Angriffspunkt der Kraft vorwärts schreiten will, eine Wirkung und eine Thätigkeit, bei welcher der Angriffspunkt der Kraft zurückschreitet, eine Gegenwirkung.

4) Die absolute Größe oder Intensität des Druckes ist, als numerischer Ausdruck einer Kraft, abhängig von der Wahl einer Maß-Einheit und von dem Verhältniß der betrachteten Kraft zu dieser Einheit; wonach sich das Verhältniß zwischen irgend zwei Kräften genau oder annähernd darstellen läßt ***).

5) Der Druck läßt sich daher, wie jede Kraft, seiner Größe und Richtung nach als eine gerade Linie darstellen, welche als Theil oder Vielfaches der gewählten Intensitätseinheit zu betrachten ist. Denn da wir die Kraft aus ihren Wirkungen, d. h. aus den Bewegungen beurtheilen können, die sie hervorbringt, so kann man die Kraft durch den Weg ausdrücken, welchen sie einen Punkt in einer gewählten Zeiteinheit zu durchlaufen veranlaßt.

6) Unter Projection einer Kraft auf eine Axe versteht man die Kraft, welche sowohl der Größe als der Richtung nach durch die Projection derjenigen geraden Linie vorgestellt wird, deren man sich zur Darstellung der Kraft im Raume bedient ****).

7) Unter Antrieb (impulsion) einer Kraft F von constanter Intensität, während einer gewissen Zeit t, versteht man das Product $F.t$ aus ihrer Intensität in ihre Wirkungsdauer. Hat die Kraft eine veränderliche Intensität, so ist ihr Antrieb während einer bestimmten Zeit das Integral $\int F.dt$ des Productes aus der Kraft in das Differential der Zeit, zwischen den Grenzen jenes Zeitraumes genommen. Die Größe ist unabhängig von der Geschwindigkeit des Angriffspunktes der Kraft *****).

8) Wenn zwei Druckkräfte in verschiedenen, aber nicht entgegengesetzten Richtungen auf einen Angriffspunkt wirken, so kann man dieselben durch eine einzige Druckkraft ersetzen, welche sich aus dem Satz des Parallelogramms der Kräfte als die Diagonale ergiebt. Dieser Druck heißt der Mitteldruck

*) Weißbach, Mechanik. Bd. I. §. 61.
**) Redtenbacher, Principien. S. 52.
***) Belanger, Mechanik, übers. v. Gugler. Cap. II. §. 1.
****) Belanger, Mechanik. S. 37.
*****) Belanger. S. 38. — Lagrange, Mécan. analyt. T. I. p. 356, T. II. p. 66.

oder die Resultante aus den Seitendrucken. Sobald der gedrückte Körper sich in Folge des Druckes bewegt, geschieht es in der Richtung dieser Resultante. Aus diesem Satze ergeben sich viele specielle Folgerungen, welche in der Statik zu behandeln sind.

9) Eine Zerlegung des Druckes geschieht, wenn die Richtung des Druckes im Angriffspunkt der Kraft nicht senkrecht auf der Berührungsfläche der sich berührenden Massen steht. Die bewegende Kraft des drückenden Körpers zerlegt sich sodann nach den Gesetzen des Parallelogramms der Kräfte in einen mit der Berührungsfläche parallelen Druck, welcher den Körper nach seiner Richtung fortzubewegen strebt und in einen auf der Berührungsfläche senkrechten Druck, welcher auf den gedrückten Körper übergeht und als der eigentlich wirksame Druck zu betrachten ist. Roeber *) leitet daraus den Unterschied zwischen Druck und Stoß her, indem er sagt: Ist die hieraus hervorgehende Einwirkung des ersten Körpers auf den zweiten, unter Voraussetzung vollkommener Härte beider Körper, in jedem unendlich kleinen Zeittheil unendlich klein, also einer beschleunigenden Kraft vergleichbar, so wird dieselbe Druck, im entgegengesetzten Falle Stoß genannt. In der Wirklichkeit verwandelt sich, nach seiner Ansicht, der Stoß in einen während kurzer Zeit ausgeübten sehr starken Druck, weil wegen der Zusammendrückbarkeit der Körper nur eine stetige Aenderung der beiderseitigen Geschwindigkeit stattfindet.

10) Eine Zusammensetzung des Druckes erfolgt, wenn man nach dem Parallelogramm der Kräfte mehrere auf einen Angriffspunkt wirkende Drucke, oder deren Resultanten, in einen einzigen Druck vereinigt. Wirken diese Drucke in gleicher Richtung auf den gleichen Angriffspunkt, so bewegt sich dieser ebenso, als wenn ein Druck, gleich der Summe sämmtlicher Drucke, auf ihn wirkte.

11) Mittellinie des Druckes (line of resistance) heißt die Verbindungslinie (Curve oder gerade Linie), welche bei mehreren einander berührenden, drückenden und gedrückten Körpern, die Durchschnittspunkte, welche die einzelnen Berührungsflächen mit den Richtungen der einzelnen Druck-Resultanten bilden, also die einzelnen Angriffspunkte des mittleren Druckes, mit einander verbindet, so daß diese Linie alle Punkte enthält, durch welche die Richtung des mittleren Druckes geht, wie er sich auf den successiv einander folgenden Berührungsflächen äußert **).

12) Richtungslinie des Druckes (line of pressure) heißt die Verbindungslinie, welche, bei mehreren auf einander folgenden Drucken nach verschiedenen Richtungen, die Durchschnittspunkte je zweier auf einander folgenden Druckresultanten mit einander verbindet, so daß die Richtung jedes einzelnen mittleren Druckes auf jede betreffende Berührungsfläche diese Richtungslinie des Druckes tangirt. Zieht man also von einem beliebigen Angriffspunkte der Kraft, in welchem die Mittellinie des Druckes irgend eine Berührungsfläche durchschneidet, eine Tangente an die Richtungslinie des Druckes, so

*) Handwörterbuch der Chemie und Physik. Bd. I. S. 605.

**) Dieser Bezeichnung bedienen sich u. A. Hagen in seinen Werken, so wie Moseley und nach ihm Scheffler in den „Mechanischen Principien der Ingenieurkunst und Architektur.“ Bd. II. §. 285.

ergiebt diese Tangente die Richtung des mittleren Druckes auf jene Berührungsfläche *).

II. Axiome und Gesetze.

13) Axiom von Newton **): Der Wirkung einer Bewegung steht immer eine gleiche Gegenwirkung entgegen, d. h. wenn zwei Körper auf einander wirken, so sind ihre Wirkungen gleich, aber entgegengesetzt. Die Action ist gleich der Reaction, der Druck immer gleich dem Gegendruck, (Siehe Nr. 3.) So stark ein Körper von einem andern gedrückt wird, so stark drückt er diesen wieder ***). Die etwa entstehende Bewegung ist als die Differenz des Druckes und des Widerstandes anzusehen.

14) Axiom von Newton ****): Die Größe einer bewegenden Kraft ist proportional der Masse und der Geschwindigkeit des bewegten Körpers. Dies Gesetz spricht aus, daß bei der Bewegung eines Körpers die Größe der bewegenden Kräfte sich bei gleichen Massen der Körper verhalten, wie die Geschwindigkeiten derselben; und bei gleichen Geschwindigkeiten der Körper wie die Massen derselben. Der Druck, welcher in einer Masse in einer gewissen Zeit eine gewisse Geschwindigkeit hervorbringt, kann daher nach diesem Gesetz folgendermaßen gemessen werden: Wenn eine Masse in einer gewissen Zeit eine gewisse Geschwindigkeit erlangt, so ist der Druck, welcher dies bewirkt hat, der Masse und Geschwindigkeit direct, der Dauer der Einwirkung aber verkehrt proportional zu nehmen *****).

15) In der Wirkung des Druckes wird nichts geändert, wenn unter sonst gleichen Umständen die Richtungslinie des Druckes beliebig verlängert und der drückende Körper an dieser Linie in demselben Sinne, aber in beliebiger Entfernung wirkend gedacht wird, sobald nur der Angriffspunkt der Kraft derselbe bleibt. So kann z. B. ein Gewicht unmittelbar auf eine Unterlage drücken, es kann aber auch auf diese Unterlage drückend wirken, wenn es mit einem Faden (der Richtungslinie des Druckes) an dieselbe gebunden ist †).

16) Ein Druck kann in Zug und umgekehrt ein Zug in Druck verwandelt werden, sobald bei gleicher Intensität und gleichem Angriffspunkt die Richtung der Kraft genau in die entgegengesetzte verwandelt, oder bei gleicher Intensität und Kraftrichtung der Angriffspunkt mit dem entgegengesetzten vertauscht wird. So drückt z. B. ein Mensch gegen einen Handkarren, wo er sich mit demselben, nach dem Rade zu, vorwärts bewegt. Er zieht den Karren, sobald er sich umkehrt und vom Rade abgewendet, sich rückwärts bewegt. Er

*) Moseley, Principien, übers. von Scheffler. Bd. II. §. 286. — Siehe auch Cambridge Philosophical Transactions. T. VI.

**) Newton principia mathem. philosophiae naturalis. 3. Ausgabe. London 1726.

***) Hutton, Dict. T. II. p. 228.

****) A. a. O. Siehe auch Karsten, Lehrgang der mechanischen Naturlehre, Bd. I. §§. 43 u. 44.

*****) Redtenbacher, Principien. S. 24.

†) Robison, Mechan. Phil. T. I. p. 5 etc.

zieht einen Wagen, wenn er sich vor denselben spannt, er drückt gegen denselben, wenn er, in gleicher Richtung wirkend, den Angriffspunkt der Kraft in den entgegengesetzten verwandelt und sich hinter den Wagen begiebt, um ihn zu schieben.

17) Zwei Druck- oder Zugkräfte sind einander gleich, wenn man die eine durch die andere ersetzen kann, ohne verschiedene Wirkung hervorzubringen. Nach diesem Satz kann man ebenfalls den Druck messen. Ein Druck ist 2, 3, 4 Mal so groß als ein anderer Druck, wenn er dieselbe Wirkung hervorbringt als 2, 3, 4, Drucke der zweiten Art zusammen. Dieser Satz spricht aber zugleich aus, daß bei einer beabsichtigten einfachen Druckwirkung es vollkommen gleichgültig sei, durch welche Mittel der Druck erzeugt werde, da man die eine Druckkraft durch die andere ersetzen kann. Muskelkraft, Federkraft, Gewichte, Wasserdampf- oder Luftdruck stehen in sofern als Druckkräfte in gleichem Range, sobald für einen bestimmten Zweck ihre Wirkung gleich groß ist.

18) Zwei entgegengesetzte Drucke heben einander auf, wenn die Größen der Bewegung einander gleich sind, welche sie hervorbringen würden. Man kann den Satz so ausdrücken: wirken zwei gleiche Drucke entgegengesetzt auf einen Punkt, so wird die ihm mitgetheilte Bewegung gleich Null sein. Wirken aber zwei ungleiche Drucke entgegengesetzt auf einen Körper, so bewegt er sich so, als wenn ein Druck, von der Differenz beider, auf ihn wirkte.

19) Die festen Körper drücken zunächst bloß nach dem Verhältniß ihres Gewichtes, vermöge der Schwere. Die Größe ihres Druckes ist also der Größe ihres Gewichtes direct proportional, wird durch Normalgewichtseinheiten ausgedrückt und dient zur Vergleichung aller übrigen Druckkräfte *).

20) Die Richtung des Druckes fester Körper fällt mit der Richtung der Schwere, also mit der Fallinie zusammen und ist somit entweder auf die gedrückte Ebene normal, oder in einem beliebigen Winkel gegen diese geneigt **).

21) Die Fortpflanzung und Verbreitung des Druckes durch einen festen Körper geschieht auf folgende Art. Ist die Richtung gegeben, in welcher ein Körper den widerstehenden drückt, so werden in derselben eigentlich nur die, den Angriffspunkt des Druckes unmittelbar berührenden Theile zur Bewegung sollicitirt. Diese üben einen gleichen Impuls gegen die sie berührenden Theile aus und so fort, auf die weiter entfernt liegenden Theile. Dabei werden alle Theilchen zunächst um einen, der Stärke des Druckes proportionalen und der Elasticität des Körpers entsprechenden Theil comprimirt. Da aber bei festen Körpern die Theilchen von allen Seiten festgehalten werden und daher für sich gewissermaßen unbeweglich sind, so wird jedes folgende Theilchen weniger aus seinem Orte gerückt werden, als das nächste vor ihm, in der Richtung des Druckes liegende. Mithin wird es auch weniger auf das nächstfolgende drücken und die Wirkung des Druckes wird daher

---

*) Brandes, Lehrb. d. Gesetze d. Gleichgew. u. d. Bewegung. Bd. I. S. 5 ff.

**) Siehe Ebene, geneigte. — Vergl. Euler Nov. Com. Pet. T. XVIII. p. 289. d'Alembert Opusc. de Mathém. T. VIII. p. 36. Grunert, Statik. S. 564 ff.

in dieser Richtung verhältnißmäßig abnehmen und endlich ganz verschwinden *). Erst wenn die Moleculartthätigkeit oder innere Bewegung vollendet ist, kann die äußere Bewegung beginnen. Wenn der Druck nicht von einem Punkte, sondern von einer berührenden Fläche ausgeht, so verbreitet er sich über die ganze Fläche, auf welcher der drückende Körper ruht. Da die Theile der festen Körper sich nicht trennen oder über einander hingleiten, so kann ein jeder große oder kleine Druck über eine beliebig große oder kleine Fläche verbreitet, oder in einem einzelnen Punkte vereinigt gedacht werden **).

22) Für die Fortpflanzung des Druckes in flüssigen Körpern, deren Theilchen eine freie Beweglichkeit haben und folglich den Druck allen umgebenden Theilchen gleichmäßig mittheilen, gilt das Gesetz: In zusammenhängenden homogenen oder heterogenen Flüssigkeiten wirkt jeder, auf einen Theil einer Fläche ausgeübte Druck in gleicher Stärke auf einen gleichen Theil jeder anderen Fläche — oder mit anderen Worten — der Druck verbreitet sich in einer Flüssigkeit nach allen Richtungen gleichmäßig. Dies geschieht so weit, bis umschließende Grenzen eines festen Körpers die Wirkungsart ändern. Flüssige Körper können daher an und für sich und als einzelne Massen gedacht, wegen des geringen Zusammenhanges ihrer einzelnen Theile, nicht eigentlich gedrückt werden, weil sie ausweichen, wenn sie nicht in Gefäßen eingeschlossen sind, oder als ganze Massen auf der festen Erdoberfläche ruhen, wie die Atmosphäre und die Meere ***).

23) Die halbflüssigen Körper üben sowohl einen Bodendruck durch ihre Schwere, als einen Seitendruck, durch ihre Verschiebbarkeit aus, letzteren aber merklich nur dann, wenn sie in Gefäßen eingeschlossen oder in größeren Massen aufgehäuft sind ****). Huber-Burnaud hat die Erfahrung gemacht *****), daß der Druck halbflüssiger Körper auf den Boden eines Gefäßes weder von der Höhe der drückenden Säule abhänge, noch durch einen Druck auf die Oberfläche des Sandes ꝛc. vermehrt werden könne. Diese und andere merkwürdige Thatsachen finden ihre Erklärung in der Theorie des Druckes halbflüssiger Körper, wie sie von Coulomb †), Prony ††), Hagen ††† und Crelle ††††) ausgebildet ist.

Der Druck als solcher, abgesehen von dessen Ursache, kann als Beweger bei Maschinen aller Art dienen, indem der Druck von Gewichten, von Wassermassen, der Druck der Luft, des Dampfes, der Federn, die Muskelkraft der Thiere und Menschen ꝛc. dazu verwendet wird. Durch Druck werden feste Körper comprimirt und dadurch ihr Volumen und ihre Form geändert. Durch Druck wird der

---

*) Muncke in Gehler's Wörterb. Bd. II. S. 611.

**) Muncke, a. a. O. Bd. II. S. 613.

***) Muncke in Gehler's Wörterb. Bd. II. S. 611.

****) Brandes, Lehrbuch der Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung. Bd. I. S. 251.

*****) Poggend. Ann. Bd. XVI. S. 316.

†) Mémoires de math. et phys. 1773. p. 343.

††) Sur la Poussée des terres. Paris 1802. — Bulletin de la Soc. Phil. No. 24.

†††) Poggend. Ann. Bd. XXVIII. S. 17 und S. 297. — Siehe auch Roeber in August's Handwörterbuch. Bd. I. S. 609. ff.

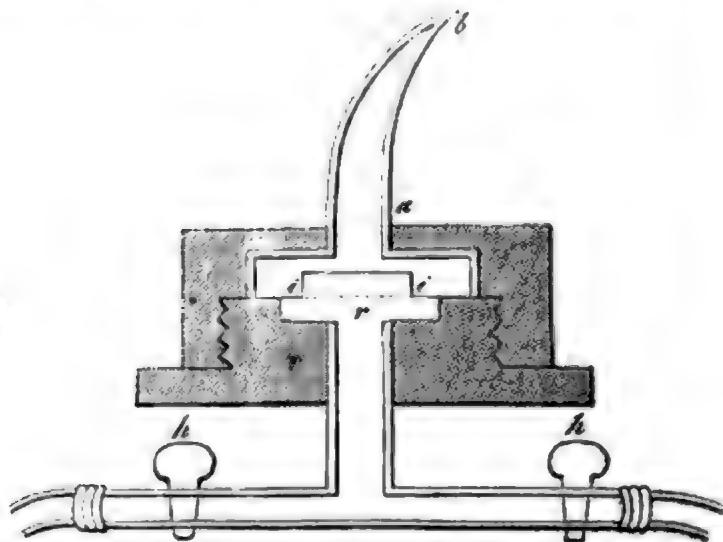
††††) Berliner Acad. Berl. 1830. S. 71. — l'Institut. Paris 1830. p. 253.

Aggregatzustand der Körper geändert, indem viele Gase durch ihn tropfbar flüssig gemacht werden können 2c. Auf Druck und Gegendruck beruht bei den Bauwerken namentlich die Stabilität und Sicherheit der Bogen und Gewölbe 2c. Durch Druck können endlich mittelbar Erscheinungen hervorgerufen werden, welche auf Molecularthätigkeiten beruhen, zu denen derselbe nur die erste Anregung giebt. So wird durch Druck Wärme und Licht entwickelt, Elektricität erregt u. s. w. — Bernoulli, d'Alembert, Lagrange und la Place waren es zuerst, welche die Gesetze des Druckes unmittelbar auf die Gleichheit der Effecte von gleichen Ursachen zurückzuführen suchten. Eine ausführliche Behandlung dieses Gegenstandes, mit Beziehung auf alle früheren Versuche giebt die Encyklop. Brit., Supplement-Band Artikel Dynamics. Außerdem sei noch auf die Arbeiten von Young, Robert und Hutton und im Uebrigen auf die bereits angezogenen Artikel: Bewegung, Kraft, Mechanik und Statik hingewiesen.

Richard Pohl.

Druckpumpe, s. Pumpe.

Drummond'sches Licht. Die Wirksamkeit einer Lichtquelle, in sofern diese auf einem Verbrennungsprocesse beruht, hängt nicht allein von dem Hitzgrade, sondern auch von dem Vorhandensein eines festen, feuerbeständigen Körpers ab, der bei gegebener Temperatur möglichst viel Licht auszusenden vermag. So läßt sich die Leuchtkraft der Gase bedeutend erhöhen, wenn man in ihre Flammen einen festen Körper bringt, z. B. einen Platindraht, der darin bald weißglühend wird. Drummond fand, daß eine Weingeistflamme, wenn dieselbe durch einen Strom Sauerstoffgas gegen Erden, besonders Kalkerde, geblasen wird, ein sehr intensives Licht verbreitet *). Jetzt wendet man zu dem Drummond'schen Kalklicht gewöhnlich eine Knallgasflamme an, welche auf ein Stückchen weißen kaustischen Kalkes geleitet ein ungemein starkes Licht liefert. Dasselbe wird auf Leuchtthürmen und namentlich auch statt des Sonnenlichtes zur Beleuchtung der Objecte bei manchen Mikroskopen gebraucht. Die beiden Gase (Sauer- und Wasserstoff) werden nämlich im comprimirten Zustande aus den Gasometern, die aus Kautschuckfäcken bestehen, in den kleinen Raum r geleitet. Es geschieht dies durch Kautschukröhren, welche an den Hähnen h befestigt sind. Vermittelst der letzteren lassen sich die beiden Gasströme nach Bedürfniß reguliren, wie es ihre Mischung zu Knallgas verlangt. Aus dem Raume r strömen die Gase durch ein feines Drahtnetz i i in die bewegliche Röhre a b und von da auf einen Kalkcylinder, der sich im Brennpunkte eines Sammelglases befindet, welches die Lichtstrahlen in conver-



*) Ann. of Phil. N. S. T. XI. p. 451. Poggend. Ann. Bd. VII. S. 120.

girenden Richtungen auf das Object sendet. Ein Kalkcylinder von $1/2$ Zoll Durchmesser verbreitet auf diese Weise ein etwa 153mal stärkeres Licht als eine Wachskerze.

Ductilität, s. Dehnbarkeit.

Dünen, s. Meer.

Düse oder **Deuse**, s. Eisen.

Dunkelheit, s. Licht.

Dunst ist verdichteter Dampf, der meist noch mit Theilchen derjenigen tropfbaren Flüssigkeit vermengt ist, aus welcher der Dampf sich entwickelt hat. Der Dampf als solcher verhält sich innerhalb gewisser Grenzen vollständig wie ein Gas; er ist vollkommen klar und durchsichtig, und seine Theilchen zeigen das Bestreben, sich immer weiter von einander zu entfernen. Der Dunst dagegen ist weniger expansibel und minder durchsichtig, indem er das Licht mehr zurückwirft und auch anders bricht als der Dampf. Den Wasserdunst nimmt man deutlich wahr, wenn Wasser in einem offenen Gefäße siedet. Man sieht dann über dem Wasser, aus dem sich die Dämpfe gasförmig entwickeln, eine Wolke, die um so dichter und ausgedehnter erscheint, je kälter die umgebende Luft ist. Diese Wolke ist nun eben nichts anderes als verdichteter Wasserdampf. Indem nämlich der aufsteigende Dampf sich in die kältere Luft verbreitet, sucht ihm die letztere einen Theil seiner freien und unter Umständen auch seiner latenten Wärme zu entziehen. Diejenigen Wassermolecule nun, welche einen bestimmten Theil ihrer Wärme verloren haben, vereinigen sich theils zu vollständigen Wasserkügelchen, die größtentheils wieder in die Flüssigkeit zurücksinken, theils zu Bläschen, welche höchst wahrscheinlich mit dampfhaltiger Luft gefüllt sind. In dem Maße aber als der Dampf sich ausbreitet, nimmt er seine freie Wärme als latente Wärme in sich auf; dabei wird derselbe, wenigstens zunächst, dünner und leichter, er steigt auf und nimmt die schon gebildeten, ihm gewissermaßen adhärirenden Dunstbläschen mit in die Höhe. Der Dunst entsteht also aus Dampf, wenn dieser seine freie und latente Wärme mehr oder weniger einbüßt; umgekehrt kann der Dunst wieder in Dampf übergehen, indem er als abgekühlter, aber sich dennoch fortwährend ausbreitender Dampf die Fähigkeit erlangt, der Luft ihre freie Wärme theilweise zu entziehen, bis seine Temperatur mit der der Luft im Gleichgewichte steht. Natürlich wird nun bei der allmäligen Verbreitung des Dampfes in der Luft die freie Wärme desselben immer geringer. Ueberdies erkennt man, daß bei diesem Processe viel auf die Temperatur und Trockenheit der Luft ankommen muß, in welcher der Dampf sich verbreitet. Je geringer jene sind, desto größer ist die Masse des durch Abkühlung niedergeschlagenen Dampfes, und um so weniger wird von ihm in die Atmosphäre aufsteigen.

Da die Dunstbläschen mit Dampf gefüllt sind, dessen specifisches Gewicht geringer als das der Luft ist, so können sie bei einem gewissen Durchmesser und einer bestimmten Dicke ihrer wässerigen Hüllen aerostatisch in der Luft schweben. Dies wird jedenfalls dann stattfinden, wenn das Gewicht der Hülle gleich ist dem Unterschiede der Gewichte der inneren dampfhaltigen Kugel und einer gleich großen von Luft. Muncke *) berechnet die Dicke x des Wasserhäutchens nach der leicht

*) Gehler, N. A. Bd. II. S. 658.

zu entwickelnden Formel $x = \frac{\alpha - \delta}{2} = \frac{d}{2}\left(1 - \left(\frac{m}{m + l - \lambda}\right)\right)$, in der d den Durchmesser des ganzen Bläschens und δ den Durchmesser des durch die Hülle eingeschlossenen Kügelchens bezeichnet. Ferner ist m das specifische Gewicht der Masse, woraus das Häutchen besteht, l das specif. Gewicht der atmosph. Luft und λ das specif. Gew. der von dem Häutchen eingeschlossenen Substanz. Nimmt man nun den Durchmesser des Bläschens nach Kratzenstein zu $\frac{1}{3600}$ Zoll, und nach Muncke die Dichtigkeit des Wassers gegen Luft mit Rücksicht auf die Ausdehnung durch die Wärme, näherungsweise = 800 : 1 an, während das mittlere Verhältniß der Dichte des Wasserdampfes zu der der Luft durch 0,5 : 1 ausgedrückt wird; so hat man in der Formel m = 800, l = 1, λ = 0,5 zu setzen, und es ergiebt sich dann x = 0,00000035 = $^1/_{28}$ Milliontel einer Linie. Hiernach würden Dunstbläschen, deren wässerige Hülle die oben bezeichnete Dicke besitzt, durch das im Verhältniß von 0,5 : 1 geringere specif. Gewicht des eingeschlossenen Dampfes in der atmosphärischen Luft bei mittlerem Barometerstande nahe an der Oberfläche der Erde schwimmen. Das Aufsteigen der Dunstbläschen erklärt sich zum Theil daraus, daß der in ihnen eingeschlossene Dampf gerade so wie der umgebende allmälig, bis zu einer bestimmten Grenze, specifisch leichter wird, indem er sich fortwährend auszudehnen strebt. Aber auch andere Umstände können dabei mitwirken, so die Adhäsion zwischen der Hülle der Bläschen und den Lufttheilchen, so daß sie von diesen bei einem aufsteigenden Luftstrome mit in die Höhe genommen werden. In dieser Adhäsion mag auch das längere Schweben der Dunstbläschen in der Luft theilweise seinen Grund haben, wozu noch der Widerstand kommt, den die Luft dem Herabfallen der Bläschen entgegensetzt. Die letzteren können während ihres Aufsteigens allmälig die Durchsichtigkeit der Luft gewinnen oder sich in eigentlichen Dampf auflösen, was aber, falls sich keine andere Wärmequelle darbietet, nach Muncke *) nur geschehen kann, wenn sowohl der in den Bläschen enthaltene als auch der sie umgebende Wasserdampf sich nicht im Maximum der Dichtigkeit befindet, damit er so viel von seiner Wärme hergeben kann, als nöthig ist, um die aus tropfbaren Wasser bestehende Hülle der Bläschen in den dampf- oder gasförmigen Zustand überzuführen.

Den Durchmesser der Dunstbläschen haben verschiedene Physiker nach verschiedenen Methoden zu bestimmen gesucht. Kratzenstein **) fand denselben durch Vergleichung mit einem Haare gleich 0,0065 Millimeter, de Saussure ***) gleich $0^{mm},0059$ — $0^{mm},0097$. Fraunhofer ****) ermittelte ihn aus dem Durchmesser der um Sonne und Mond mitunter sichtbaren Höfe, welche durch die Beugung der Lichtstrahlen an den Rändern der in der Atmosphäre schwebenden Dunstbläschen entstehen. Die Erscheinung verhält sich hier gerade so, als ob das Licht durch Oeffnungen gegangen wäre, die gleichen Durchmesser mit den Dunstbläschen haben. Je kleiner der Durchmesser der letzteren, desto größer ist der

---

*) A. a. O. S. 663.
**) Vom Aufsteigen der Dünste und Dämpfe. Halle 1744.
***) Essay sur l'hygrometrie. 1783.
****) Schumacher's astron. Nachr. Bd. III.

Durchmesser des Hofes. (Siehe d. Art. Hof.) Fraunhofer fand auf diese Weise den Durchmesser der Dunstbläschen gleich 0mm,0051 — 0mm,0306, und Kämtz *), der sich derselben Methode bediente, im Mittel gleich 0mm,0224. Was endlich die Dicke des Häutchens betrifft, so suchte Kratzenstein dieselbe aus einer Vergleichung der durch die Bläschen entstandenen Farben mit den Newton'schen Farbenringen zu bestimmen, die von der Dicke der erzeugenden durchsichtigen Substanz bedingt sind. Es fand sich 0mm,0006. Bestimmungen dieser Art müssen freilich, schon wegen der Veränderlichkeit in der Dicke des Häutchens, sehr unsicher sein.

Von dem Dasein der Dunstbläschen überzeugt man sich nach de Saussure, wenn man, um das Sehen zu erleichtern, eine dunkle Flüssigkeit, z. B. tintenhaltiges Wasser oder Kaffee, nach beträchtlicher Erhitzung an einen Ort stellt, wo die Luft ruhig ist und starkes Licht auf die Oberfläche fällt. Man kann dann in dem aufsteigenden Dunste mit bloßem Auge größere und kleinere Bläschen, die ein buntes Farbenspiel zeigen, zum Theil auch bloße weiße Kügelchen unterscheiden. Mit einer Lupe von 1 bis 1½ Zoll Brennweite sieht man aber, wie die kleineren schneller aufsteigen, während die größeren zum Theil wieder auf die Flüssigkeit zurückfallen. Haucht man längs der Oberfläche der letzteren hin, so bewegen sich die Bläschen zur Seite und ein großer Theil derselben steigt in die Höhe. Läßt man durch die feinen Bläschen Lichtstrahlen fallen, so zeigen sie sich von einem schwachen Regenbogen mit prismatischen Farben umgeben. Daß auch der Nebel solche Bläschen enthalte, bemerkt man mit bloßen Augen, wenn man des Abends oder des Nachts bei einem starken Nebel die Dunsttheilchen durch ein Kerzenlicht stark beleuchtet, indem man dieses z. B. einfach zum Fenster hinaushält. Wenn man dann noch durch die Lupe gegen eine schwarze glatte Fläche sieht, so nimmt man die in den Brennraum der Lupe kommenden Dunstbläschen sehr deutlich wahr. Die Bläschen der Nebel und Wolken sind jedoch kleiner und weniger dicht gehäuft als die der Dünste, welche über siedendem Wasser schweben. Ueber das Schweben der Dunstbläschen in der Luft sehe man auch die Art. Nebel und Wolken.

Schließlich bemerken wir noch, daß viele Physiker die Worte Dunst und Dampf als gleichbedeutend gebrauchen. Da aber das Wasser durch Einwirkung der Wärme die wahre Gasform anzunehmen vermag, so muß ein Unterschied zwischen eigentlichem und verdichtetem Wassergas gemacht werden. Nun ist es, wenigstens im Deutschen, so ziemlich üblich geworden, jenes durch das Wort Dampf, dieses durch das Wort Dunst zu bezeichnen.

Dunstbläschen, s. Dunst.

Dunstkreis, **Dunsthülle**, s. Atmosphäre.

Duplicator der Elektricität, Verdoppler der Elektricität (v. d. lat. duplicare, verdoppeln) ist ein ursprünglich von Bennet erfundenes Instrument, welches dazu dienen soll, kleine Quantitäten von Elektricität, welche an sich so gering sind, daß sie nicht wahrgenommen werden können, durch Vervielfältigung bemerklich zu machen, so daß man sie nicht allein am Elektrometer beobachten, sondern sogar einen elektrischen Funken erhalten kann. Von dem Condensator unterscheidet sich der Duplicator dadurch, daß bei jenem Elektricität,

*) Meteorologie I., und Vorlesungen über Meteorologie 1840.

welche sich zwar von zu geringer Spannung, um ohne Weiteres auf das Elektrometer zu wirken, aber doch in bedeutender Menge vorfindet, gleichsam gesammelt wird, mittelst des letzteren aber eine verhältnißmäßig sehr geringe Menge Elektricität durch Vervielfältigung zu einer beliebigen Größe der Spannung gebracht werden kann.

Das Bennet'sche Instrument besteht aus drei metallenen Scheiben, von denen die erste horizontal auf einem isolirenden Gestelle (z. B. auf einer Glassäule) ruht, oder auch als Deckel auf das Blattgoldelektrometer aufgeschraubt, und nur auf der oberen Fläche mit einer dünnen Schicht Lackfirniß überzogen ist. Die zweite Scheibe ist mit einem gläsernen Handgriffe versehen, so daß sie an demselben gefaßt, isolirt bleibt. Dieser Handgriff ist am Rande der Scheibe befestigt; die Scheibe ist auf beiden Seiten, aber nicht am Rande überfirnißt. Die dritte Scheibe endlich hat einen senkrecht auf ihr stehenden isolirenden Handgriff und ist nur auf der diesem entgegenstehenden Seite mit Lackfirniß überzogen.

Um mittelst dieser drei Scheiben, welche das ganze Instrument ausmachen, eine geringe Quantität Elektricität zu vervielfachen, legt man die zweite der beschriebenen Scheiben auf die überfirnißte Seite der ersten, theilt dieser die kleine Quantität Elektricität, welche vervielfacht werden soll, mit, berührt zugleich den Rand der zweiten Scheibe mit dem Finger, nimmt dann den Finger hinweg, hebt die zweite Scheibe von der ersten und setzt die dritte Scheibe auf die zweite, berührt mit dem Finger die Oberfläche der dritten Scheibe, nimmt den Finger hinweg und hebt die dritte Scheibe isolirt von der zweiten ab. Nun wird wieder die zweite Scheibe auf die erste gelegt, sodann aber die dritte Scheibe mit ihrem Rande an den Rand der ersten Scheibe gehalten, zugleich der Finger auf die zweite Scheibe gelegt, diese abgehoben, die dritte Scheibe darauf gesetzt 2c. Dieses Verfahren wird desto öfterer wiederholt, je mehr man die kleine Quantität Elektricität vervielfachen will, welche anfänglich der ersten Scheibe mitgetheilt wurde. Der Vorgang in den Scheiben des Duplicators ist hierbei (nach dem Gesetze der elektrischen Vertheilung) folgender: Nachdem der ersten Scheibe eine kleine Quantität Elektricität mitgetheilt worden, von der wir annehmen wollen, daß sie = + e, also positiv gewesen sei, wird in der zweiten Scheibe eine + e entsprechende geringe Quantität — e (negative Elektricität) erzeugt, und bei dem weiteren Verfahren wiederum mittelst dieser — e eine entsprechende Quantität + e (positive Elektricität) in der dritten Scheibe hervorgerufen. Indem nun bei Wiederholung des Verfahrens die zweite Scheibe auf die erste gelegt und an diese die dritte Scheibe gebracht wird, wirkt auf die zweite Scheibe nicht allein die + e der ersten, sondern auch die + e der dritten, es wird also nun in der zweiten Scheibe eine größere Quantität negativer Elektricität und durch diese wieder eine größere Quantität positiver Elektricität in der dritten Scheibe hervorgerufen, und so oft man noch das angegebene Verfahren wiederholt, findet eine Vervielfältigung der ursprünglich der ersten Scheibe ertheilten Elektricitätsmenge statt.

Statt der Metallscheiben kann man sich auch mit Stanniol überzogener Pappscheiben bedienen und um die Scheiben von einander zu isoliren, kann man zwischen dieselben sehr kleine Stückchen Glas legen. Bohnenberger *) machte indeß die Bemerkung, daß durch die Reibung der mit Stanniol überzogenen Schei-

*) Beschreibung verschiedener Elektricitätsverdoppler. Tübingen 1798.

ben etwas Elektricität erregt würde, so daß man bei dem Versuche mit diesem Instrumente sich nicht vergewissern kann, ob die endlich wahrgenommene Elektricität nur eine Vervielfältigung der anfangs der ersten Scheibe mitgetheilten, oder ob dieselbe nicht großentheils durch die Handhabung des Instruments selbst hervorgebracht sei.

Cavallo hatte bemerkt, daß auch die mit Firniß überzogenen Platten durch eine geringe Reibung an einander elektrisch würden, die sich beim Aufsetzen der Scheiben auf einander und beim Abheben derselben von einander nie gänzlich vermeiden läßt. Cavallo und Bohnenberger haben daher jeder Duplicatoren hergestellt, bei denen die Platten sich gar nicht mittelst eines zwischenliegenden festen Körpers berührten, sondern nur durch eine dünne Luftschicht isolirt wurden; übrigens waren die Platten gar nicht mit einer isolirenden Substanz überzogen. Hier fand nun gar keine Reibung, also auch keine Erzeugung von Elektricität durch Reibung der Platten auf einander statt, dennoch zeigte es sich, daß diese Platten stets einige Elektricität besaßen. Denn selbst dann, wenn keiner der Platten seines Duplicators Elektricität mitgetheilt wurde, fand Cavallo, daß nach 10 bis 15, höchstens 20 maligem Verdoppeln die Platten so voll von Elektricität waren, daß sich sogar Funken aus denselben ziehen ließen. Vergebens suchte Cavallo alle Mittel, die Platten gänzlich von aller Elektricität zu befreien. Er verband dieselben einen ganzen Monat lang durch einen guten Leiter der Elektricität mit der Erde, ließ sie während dieser Zeit unberührt stehen und fand dennoch, als er nachher zu wiederholten Malen verdoppelte, noch Spuren einer in den Platten selbst enthaltenen Elektricität *).

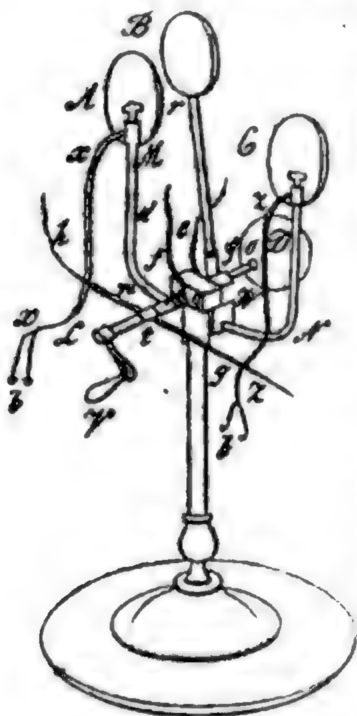
Bohnenberger überzeugte sich ebenfalls von der großen Unsicherheit des Bennet'schen Duplicators, indem in demselben stets, auch ohne daß einer seiner Scheiben Elektricität direct mitgetheilt worden ist, nach mehrmaligem Verdoppeln Spuren von Elektricität bemerklich sind. Nur ist nicht wahrscheinlich, daß, wie Cavallo meint, Elektricität von den mit dem Duplicator vorgenommenen Versuchen in demselben zurückbleibe, sondern es scheint die Elektricität vielmehr durch die Manipulation (das Verfahren bei dem Gebrauche desselben) selbst erst im Instrumente erzeugt zu werden. Nicht allein können eine Menge von Zufälligkeiten dem Instrumente geringe Quantitäten Elektricität zuführen, die nach dem Verdoppeln bemerklich werden, sondern es scheint die Hauptursache der freiwilligen Elektricitätserregung beim Bennet'schen Verdoppler, nach Pfaff's Meinung **), in dem galvanischen Verhältnisse zu liegen, das zwischen der vom Finger des Beobachters berührten Scheibe und diesem selbst jedesmal eintritt. Wie schwach die hierdurch erzeugte Elektricität anfangs auch sein mag, so wird sie doch endlich nach oftmaligem Verdoppeln bemerklich werden.

*) Cavallo wurde hierdurch veranlaßt, den Bennet'schen Duplicator als unsicheres Instrument gänzlich zu verwerfen und an dessen Stelle seinen Collector (siehe den Art. Condensator) zu erfinden. Dieser ist nicht sowohl ein den Duplicator ersetzendes Instrument, als vielmehr ein Condensator, indem derselbe wie der Condensator zwar eine vorhandene große Menge Elektricität von schwacher Intensität bemerklich macht, aber nicht wie der Duplicator eine an sich geringe Quantität Elektricität vervielfältigt.

**) Gehler, N. A. Bd. II. S. 667 ff.

Dieser nachtheilige Umstand, durch welchen der Bennet'sche Duplicator zu feineren Bestimmungen unbrauchbar wird, nämlich das Berührtwerden desselben mittelst des Fingers, findet nun nicht statt bei dem von Nicholson *) erfundenen Duplicator, der mit einem Mechanismus versehen ist, durch den die Berührung mit dem Finger unnöthig gemacht wird. Dasselbe ist von Read **) folgendermaßen beschrieben.

Der Duplicator ist 10 Zoll hoch und besteht ganz aus Messing und Glas. Zum Fuße dient eine massive Glassäule, welche den auf sie befestigten messingenen Würfel Q hinreichend isolirt. In einer sehr genau gearbeiteten Hülse dieses cubischen Stückes dreht sich die Welle LO so gedrängt, daß sie nicht wankt. Der hintere Theil derselben po besteht aus Messing und endigt sich in eine hohle Kugel aus Messingblech D; der vordere Theil Lp ist ein massiver Glasstab und trägt in L eine messingene Kurbel LV, vermittelst welcher die Welle gedreht wird. A, B und C sind drei von Glasstäben getragene Messingscheiben, ihr Rand und das Messingstück, welches sie auf Glasstäbe befestigt, sind, um das Ausströmen möglichst zu verhindern, überall aufs Beste abgerundet. Die beiden unbeweglichen Scheiben A und C sind an die gebogenen Glasstäbe M und N befestiget und von ihrem hintern Theile gehen zwei Drähte x und z herab, woran sehr empfindliche Elektroskope b, b hängen. Um die Flachsfäden dieser Elektrometer recht fein zu erhalten, ist es am besten, sie von der Pflanze selbst abzustreifen und zu spalten, bis sie fast in der Luft schweben, und sie dann mit starkem Leime zu steifen, damit sie sich nicht drehen und durchkreuzen. Die dritte Messingscheibe B ist vermittelst des Glasstabes rs an eine Hülse befestigt, die auf den messingenen Theil der Welle aufgeschoben und fest geschraubt ist, so daß sie sich zugleich mit dieser umdreht; eine kleine Messingkugel W an der entgegengesetzten Seite der Hülse dient ihr zum Gegengewicht. Auf eine ähnliche Art ist an dem gläsernen Theil der Welle vermittelst der Hülse t ein Messingstab gh so angebracht, daß bei jeder Umdrehung die feinen Drähte, die aus seinen Enden hervorgehen, gegen den untern horizontalen Arm der Drähte x und z schlagen. Die beiden Theile der Welle diesseit und jenseit des cubischen Stücks Q sind genau gegen einander abgewogen, so daß der Schwerpunkt der Welle mitten in den Cubus Q fällt. Die Scheiben A und C stehen genau in derselben Ebene, senkrecht auf der Axe, und auch die Scheibe B wird senkrecht auf die Axe gestellt, so daß sie im Umdrehen dicht vor den beiden ersten Scheiben, doch ohne sie zu berühren, vorbeigeht. Der Messingdraht gh sowohl als auch die Drähte fd und e, von denen der erste auf dem cubischen Stücke Q, und der andere auf dem Messingtheile der Welle aufsitzt, endigen in feine Drähte, die sich nach Willkür adjustiren und biegen lassen. Man stellt sie so,



*) Philos. Transact. 1788. T. II. p. 403—407. Gren's Journ. Bd. II. S. 61.
**) Bibliothéque britannique 1798; Annal. de Chemie. Tom. XXIV. 327.

daß im Augenblicke, da die umlaufende Scheibe B der festen A genau gegenübersteht, die mit den Scheiben A, C in Verbindung stehenden Messingstäbe x, z, von den Drähten g und h, und zugleich die umlaufende Scheibe B vom Drahte fd berührt wird, da dann die erstere unter sich und die letztere mit der Messingkugel D (vermittelst des messingenen Theils der Welle pO) in leitender Verbindung steht, und daß endlich, wenn die Axe so weit fortgedreht ist, daß B der andern festen Scheibe gegenübersteht, der Draht p gegen diese Scheibe C schlägt und sie dadurch gleichfalls mit der Kugel D in leitende Verbindung setzt. In jeder andern Lage sind die Scheiben und die Kugel außer aller leitenden Verbindung unter einander.

Man theilt die Elektricität, welche verdoppelt werden soll, (z. B. die Elektricität einer einmal durch die Hand gezogenen Glasröhre), der Kugel D mit. Wenn nun die Scheibe B der festen A gegenübersteht, so berührt sie der Draht fd und setzt sie mit der Kugel D in leitende Verbindung, jene Elektricität theilt sich also der Scheibe B mit. Zu gleicher Zeit bilden dann die beiden unbeweglichen Scheiben A und C vermöge des Stabes gh eine zusammenhängende Metallmasse, die durch Vertheilung elektrisirt wird, indem die Elektricität in der Scheibe B die gleichnamige aus der gegenüberstehenden A hinaus in das andere Ende der Metallmasse, d. h. in die Scheibe C treibt, so daß A negative und C positive Elektricität erhält. Dabei wirkt aber die negative Elektricität der Scheibe gerade so auf die Scheibe B und die damit verbundene Kugel zurück, und häuft fast alle positive Elektricität aus der Kugel in der Scheibe B an. Kommt nun diese der Scheibe C gegenüber, die in dem Augenblicke von dem Drahte p berührt und mit der Kugel D zu einer leitenden Masse wird, so elektrisirt B eben so wieder diese Masse durch Vertheilung, und die positive Elektricität wird aus C ganz in die Kugel D getrieben, somit also eine doppelte Menge Elektricität, als vorher, angehäuft. Kommt folglich B wieder in die erste Lage der Scheibe A gegenüber, so kann ihr die Kugel abermals Elektricität ertheilen, A wird also noch stärker negativ und C positiv elektrisch, und daher wird in der zweiten Lage der beweglichen Scheibe B, der Scheibe C gegenüber, wiederum mehr Elektricität in die Kugel D getrieben. So geht es beim fernern Drehen fort, in der Kugel und der Scheibe B wird die zugeführte, in A die entgegengesetzte Elektricität immer stärker angehäuft, bis endlich ihre Intensität so stark wird, daß sich ihre Schlagweite bis auf die Entfernung, in welcher B vor A vorbeigeht, erweitert. Dann entsteht eine Entladung zwischen beiden Scheiben und das elektrische Gleichgewicht stellt sich mit einem kleinen Funken wieder her. Bei Elektricitäten, wie man sie mit dem Duplicator zu untersuchen pflegt, sind 15 bis 20 Umdrehungen mehrentheils hinlänglich, eine Explosion zu bewirken. Die Elektrometer pflegen schon bei der ersten Umdrehung aus einander zu gehen.

Sowohl bei dem Nicholson'schen als auch bei einem von ihm selbst hergestellten Instrumente, das eine Abänderung des ersteren ist, fand Bohnenberger in wiederholten Versuchen auch nach 200 ja 250maliger Rotation doch keine Spur von Elektricität, wenn dieselbe nicht vorher dem Instrumente mitgetheilt worden war. In einzelnen Versuchen zwar kann allerdings auch ohne vorherige Mittheilung an das Instrument nach mehrmaliger Rotation dennoch Elektricität bemerkt werden; dann aber hatten entweder die Scheiben und die Kugel nicht lange genug seit dem letzten Versuche mit dem Erdboden in leitender Verbindung gestan-

den, enthielten also noch von den frühern Versuchen Spuren von Elektricität, oder es war dem Instrumente durch einen Zufall unbemerkt Elektricität zugeführt worden. Man kann hierin eine Bestätigung der Pfaff'schen Bemerkung sehen, daß namentlich durch das Berühren mit dem Finger das Bennet'sche Instrument unzuverlässig werde, denn der Nicholson'sche Duplicator unterscheidet sich von dem Bennet'schen wesentlich nur dadurch, daß bei ihm die Scheiben nicht berührt zu werden brauchen. Pfaff's Meinung wird auch noch durch eine andere Beobachtung von Bohnenberger unterstützt, daß nämlich im Bennet'schen Duplicator die Zeichen der Verdoppelung gegen die Berechnung eher, als im Nicholson'schen sich äußern und daß er weniger Operationen als dieser erfordert. Als z. B. Bohnenberger in beiden einer Scheibe so viel möglich eine gleiche Quantität Elektricität mitgetheilt hatte, zeigten sich beim Bennet'schen Duplicator die ersten Fünkchen schon bei der achten bis zehnten und die Explosion bei der 12. bis 15. Berührung der mittlern Scheibe; bei seinem Nicholson'schen Duplicator waren erst nach 20 bis 25maligem Hin- u. Herschieben Zeichen der Verdoppelung sichtbar, und nach 30 bis 40maliger Wiederholung erfolgte erst die Explosion. Es ist also nicht unwahrscheinlich, daß bei dem Bennet'schen Instrumente die Elektricität noch durch die Berührung mit dem Finger verstärkt worden, so daß bei der Handhabung desselben nicht allein die zuerst dem Instrumente mitgetheilte, sondern auch die auf diese Weise mitgetheilte Elektricität vervielfältigt wurde.

Durchdringlichkeit, s. Materie.

Durchgang eines Gestirns durch den Meridian, s. Culmination.

Durchgang der untern Planeten durch die Sonnenscheibe oder Vorübergang derselben vor der Sonne. Wenn die untern Planeten, Merkur und Venus, bei ihrer untern Conjunction in die von der Erde nach der Sonne gezogene Linie oder nahe derselben treten, so wird man sie als dunkele Scheibchen vor der Sonne vorbeiziehen sehen. Diese Planetendurchgänge gehören zu den seltnern Himmelserscheinungen, da sie nur dann stattfinden können, wenn die Conjunction nahe bei den Knoten eintritt. Man findet durch leichte Rechnung, daß die Venus bei ihrer untern Conjunction weniger als 1° 49′, Merkur hingegen weniger als 3° 28′ vom Knoten abstehen muß, wenn man von irgend einem Orte der Erde aus einen Durchgang sehen soll. Mittelst dieser Grenzen lassen sich leicht die Perioden der Durchgänge auffinden. Die Venus kommt alle 583 Tage 22 St. mit der Sonne in Conjunction; in 218 T. 16 St. rückt die Sonne 215° 32′ in ihrer Bahn fort, und es wird folglich jede Conjunction von der nächst vorhergehenden um 215° 32′ entfernt liegen; nach fünf Conjunctionen beträgt daher die Entfernung der ersten und letzten $(215^\circ\ 32') \times 5 = 2 \,.\, 360^\circ + 357^\circ\ 40'$, d. h. diese Conjunction findet fast wieder an demselben Orte statt, als die erste. Fand demnach die erste Conjunction etwas über den Knoten der Venusbahn hinaus statt, und zwar so, daß noch ein Durchgang beobachtet wurde, so wird die sechste Conjunction ebenfalls mit einem Durchgange verbunden sein; dieser Zeitraum beträgt 8 Jahre. Fand die erste Conjunction 1° über den Knoten hinaus statt, so wird die zweite 36° 32′ von dem andern Knoten entfernt sein; und folglich, da nach je fünf Conjunctionen der Ort derselben um 2° 20′ zurückgegangen ist, wird die 72. Conjunction ungefähr 3° vor, die 77. ungefähr 1° vor, und die 82. ungefähr 1° 30′ über den Knoten hinaus stattfinden, so daß also zwei der drei ge-

nannten Conjunctionen wieder mit Durchgängen verbunden sein können. Hieraus erhellt, warum immer zwei Durchgänge in so kurzer Zeit von ungefähr 8 Jahren auf einander folgen und sodann ein langer Zwischenraum von über 100 Jahren stattfindet. Es liegen also zwischen dem 1. und 2. Durchgange 8 Jahre, zwischen dem ersten und dritten $113^1/_2$ Jahre; so fanden z. B. Venusdurchgänge statt 1761 am 5. Juni und 1769 am 3. Juni, und die beiden nächsten werden sein 1874 den 9. Dec. und 1882 den 6. Dec. Auf ähnliche Weise findet man auch die Perioden für die Merkurdurchgänge. Die in diesem Jahrhundert noch stattfindenden Merkurdurchgänge werden sein: 1861 11. November, 1868 4. November, 1878 6. Mai, 1881 7. Nov., 1891 9. Mai, 1894 10. Nov. Da die Knoten der Venusbahn so liegen, daß die Erde am 5. Juni und am 6. Dec. durch die Knotenlinie geht, so können sich Venusdurchgänge nur um diese Zeitpunkte und aus gleichem Grunde die Merkurdurchgänge nur zu Anfange des Mai und November ereignen. Die Beobachtung der Venusdurchgänge ist für die Astronomie von hoher Wichtigkeit; sie sind fast das sicherste und zugleich das einfachste Mittel, die Sonnenparallaxe zu finden. Halley hatte dies zuerst erkannt und es den Astronomen zur Beachtung empfohlen, was auch bei den nächsten Durchgängen 1761 und 1769 geschah, da sie von vielen Orten der Erde aus sehr sorgfältig beobachtet wurden. Die Venus ist zur Zeit ihrer untern Conjunction der Erde sehr nahe, und man wird demnach bei einem Durchgange von verschiedenen Orten der Erde die Venus auch an sehr verschiedenen Orten auf der Sonnenscheibe sehen, so daß man hieraus zunächst die Parallaxe der Venus für diese Entfernung und also auch die Parallaxe der Sonne finden wird, da nach dem dritten Kepler'schen Gesetze das Verhältniß der Entfernungen der Planeten sich sehr genau ausmitteln läßt. Die beiden erwähnten Venusdurchgänge von 1761 und 1769 hat erst Encke einer genauen Rechnung unterworfen und deren Resultate in zwei lesenswerthen Schriften veröffentlicht; sie führen den Titel: 1) Die Entfernung der Sonne von der Erde aus dem Venusdurchgange 1761; und 2) der Venusdurchgang von 1769, als Fortsetzung der vorigen Abhandlung. Hiernach ist die mittlere Aequatoreal-Horizontalparallaxe der Sonne $= 8'',5776$ mit einem wahrscheinlichen Fehler von $\pm 0'',0370$; oder was dasselbe sagt: die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde ist mit Gewißheit nicht kleiner als 20577649 und nicht größer als 20755943 geographische Meilen. Daß die Merkurdurchgänge zur Bestimmung der Sonnenparallaxe nicht dienen können, sieht man leicht ein, da die Parallaxe des Merkur in seiner untern Conjunction von der der Sonne nicht sehr verschieden ist, während zu dieser Zeit die Parallaxe der Venus fast das Vierfache der Sonnenparallaxe beträgt. Daß übrigens nur Venus und Merkur, die sogenannten unteren Planeten, Durchgänge durch die Sonnenscheibe haben können, ist klar: denn nur diese Planeten können zwischen Erde und Sonne zu stehen kommen, weil alle übrigen weiter von der Sonne entfernt sind als die Erde. Schließlich werde noch bemerkt, daß im Berliner astronomischen Jahrbuch für 1842 eine Abhandlung von Encke über Vorausberechnung der Planetendurchgänge sich befindet. Jahn.

Durchgangsinstrument, s. Passageninstrument.

Durchseihen, s. Filtriren.

Durchsichtigkeit, s. Licht.

Dynamik, s. Mechanik.

Dynamometer oder Kraftmesser wird überhaupt jede Vorrichtung genannt, durch welche die absolute Größe von Kräften oder deren Wirkungen gemessen wird. Es ist daraus ersichtlich, daß die Benennung Dynamometer collectivisch ist. Und in der That bezeichnet man damit eine ganze Reihe der verschiedensten Apparate, deren Gemeinsames nur ist, daß eine unmittelbare oder mittelbare Kraftäußerung mit ihnen gemessen werden soll. Dies hat zu Begriffsverwirrungen geführt, welche sich gewöhnlich da einzuschleichen pflegen, wo es sich um Bestimmung von Kräften handelt. Der Praktiker namentlich ist geneigt, Kraft und Effect — Ursache und Wirkung — zu verwechseln, so wie auch im Allgemeinen der Unterschied zwischen Kraft, Effect, Lebendige Kraft und Wirkungsgröße (siehe die Artikel) bisher noch selten streng festgehalten wurde. Dennoch ist hier eine scharfe Grenze zu ziehen, wenn man nicht einen Verstoß gegen die Grundprincipien der Mechanik, wie gegen die der Logik und Metaphysik begehen will.

Dieselbe Scheidung, welche man mit diesen Begriffen vorzunehmen hat, muß auch auf die Instrumente ausgedehnt werden, welche zur absoluten Maßbestimmung der zur Aeußerung und Wirkung gelangenden Kräfte dienen. Wir glauben das am sichersten zu erreichen, wenn wir die verschiedenen, sogleich näher anzuführenden Arten von Dynamometern unter besonderen Benennungen in getrennten Artikeln, oder an dem Orte behandeln, wohin sie, ihren specifischen Zwecken nach, gehören.

Man unterscheidet folgende Hauptarten von Dynamometern.

I. Eigentliche Dynamometer, oder wirkliche Kraftmesser zum Messen directer Zug- und Druckkräfte. Hierher gehören:

1) Die Feder-Dynamometer oder Federwagen, zum Messen der Zug- und Druckkräfte belebter Motoren (Menschen und Thieren) und unbelebter Motoren (der Zugkraft der Locomotiven 2c., des Druckes auf die Kurbel bei stationären Dampfmaschinen, Wasser- und Windrädern 2c.). — Siehe d. Art. Kraftmesser.

2) Die Gewichtsdynamometer oder Gewichtswagen zum Abwägen oder Messen der Schwerkraft. Hierzu dienen gewöhnlich ein- oder mehrfache Hebel, an welchen die zu messende Kraft oder die abzuwägende Last mit bekannten Gewichten ins Gleichgewicht gesetzt wird. Man kann aber ebenso gut die Federwagen dazu benutzen, deren Hauptbestandtheil eine Stahlfeder oder ein sonstiger elastischer Körper (Kautschuk 2c.) ist, welcher die Größe der auf ihn wirkenden Kraft durch die bewirkte Formänderung mit Hülfe von Zeigern angiebt. Die Gewichtsdynamometer sind also Nichts anderes, als Apparate zur Messung einer speciellen Art von Zugkraft, welche wir Schwere nennen. — Sie werden im Artikel Wage behandelt.

3) Dynamometer zur Bestimmung der absoluten Festigkeit der Körper oder Festigkeitsmesser. Um die absolute Festigkeit der Körper zu untersuchen, d. h. um die Zugkraft zu messen, welche erforderlich ist, die Körper zu zerreißen, kann jede Federwage gebraucht werden. — Doch sind mehrere Instrumente zu diesem speciellen Zwecke erfunden worden, welche im Artikel Festigkeit zu beschreiben sind. (Siehe d. Artikel).

II. Dynamometer zur Bestimmung der Nutzeffecte und Arbeitseffecte, fälschlich Kraftmesser genannt. Um jede Verwechselung mit den eigentlichen Dynamometern oder Kraftmessern zu vermeiden, schlagen wir für diese Instrumente den Namen Effectmesser oder Energimatometer (von ἐνέργημα, das Bewirkte) vor.

Hierher gehören:

1) Die Dynamometer zur directen Bestimmung der absoluten Arbeits- oder Wirkungsgröße, d. h. des Productes aus der Kraft in den Weg, ohne Berücksichtigung der Zeit. (Morin's Dynamometer à style.)

2) Dynamometer zur directen Bestimmung des absoluten mechanischen Effectes einer Kraft, d. h. des Productes aus der Kraft in die Geschwinkeit, also mit Berücksichtigung der Zeit. (Morin's Dynamometer à compteur; totaliseur; Watt's Indicator.)

3) Dynamometer zur Bestimmung des Nutzeffectes einer Kraftmaschine durch Messen eines künstlich erzeugten Widerstandes und Berechnung des Productes aus diesem Widerstande in die Geschwindigkeit, mit welcher er überwunden wird. — Bremsdynamometer.

4) Dynamometer zur Bestimmung des Arbeitseffectes, welcher einer Arbeitsmaschine mitgetheilt und durch deren Thätigkeit ein für uns nützliches Resultat hervorgebracht wird. Hierher gehört besonders das Differentialdynamometer von Batchelder.

Alle diese Dynamometer nennen wir Energimatometer und fassen sie im Artikel Effectmesser zusammen.

III. Optische Dynamometer oder Auzometer, Vorrichtungen, um die Vergrößerung der Fernröhre zu messen. Von Ramsden erfunden. Siehe d. Art. Auxometer (Bd. I. S. 651) und Fernrohr.

IV. Das Hämadynamometer (Blutkraftmesser) und das Kymographion von Ludwig und Volkmann, gehören noch hierher und sind unter die Effectmesser zu rubriciren. Das Hämadynamometer bestimmt die Stromkraft des Blutes und das Kymagraphion zeichnet die Schwankungen auf, welche durch die Veränderung der Druckintensität und Geschwindigkeit im Blutlaufe erzeugt werden. Diese Instrumente dienen zu rein physiologischen Zwecken. Sie wurden in neuester Zeit von Volkmann und Helmholtz nicht nur zur Bestimmung der veränderlichen Bewegkraft des Herzens, sondern auch zur Bestimmung der Wirkungsgröße angewendet, welche durch die Muskelcontractionen erzeugt wird. — Wir kommen im Artikel Hydraulik darauf zurück. R. Pohl.

Ebbe und Fluth (lat. Fluxus et refluxus, franz. le flux et le reflux de la mére, engl. ebb and flow) nennt man die Abwechselung von Sinken und Steigen des Wassers an den Küsten des Meeres und an den Ufern sehr großer Flüsse.

Dieses regelmäßige Steigen und Sinken wiederholt sich täglich zweimal, und zwar in folgender Art. Wenn das Wasser seine größte Höhe (volle Fluth, hohes Wasser) erreicht hat, so verweilt es eine kurze Zeit in diesem Stande; darauf beginnt es sich allmälig mehr und mehr zu senken und an flachen, nicht abschüssigen Ufern von diesen zurückzutreten, so daß ganze Küstenstrecken endlich vom Wasser entblößt werden. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Höhe des Wassers abnimmt, ist nicht gleichmäßig, sondern zu Anfange geringer, dann größer und gegen das Ende der Zeit der Abnahme wieder geringer. Dieses Sinken oder Zurücktreten des Wassers ist die Ebbe. Nach Verlauf von etwas über 6 Stunden ist die tiefste Ebbe, das niedrigste Wasser eingetreten, welche nur wenige Minuten scheinbar einen unveränderlichen Wasserstand beibehält. Bald fängt das Wasser wieder zu steigen an, die Fluth tritt ein, erst langsam, dann schneller, zuletzt bis es wieder hohe Fluth geworden wieder mit abnehmender Geschwindigkeit. So wechseln fortwährend Fluth und Ebbe.

Die Fluth ist an dem nämlichen Orte nicht immer gleich hoch; man unterscheidet vielmehr, außerdem, daß sie durch Stürme vielfache Modificationen erleidet, auch ein regelmäßig wiederkehrendes Stärker- und Schwächerwerden der Fluthen. Die stärksten Fluthen treten zur Zeit des Vollmondes und des Neumondes ein und heißen Springfluthen, wogegen die schwächsten Fluthen Nippfluthen (taube Fluthen) in die Zeiten der Mondsviertel fallen.

Aber auch an den verschiedenen Küsten findet ein sehr bedeutender Unterschied in der Höhe der Fluthen statt, indem die Beschaffenheit der Umgrenzungen des Meeres in den verschiedenen Gegenden von Einfluß ist. Enge und nach allen Seiten zu eingeschlossene Meere zeigen gar keine Fluth und Ebbe, im Mittelmeer und in der Ostsee sind sie nur sehr gering. Durch die Stürme ist das Meer in fortwährender Bewegung, und von den durch diese veranlaßten Schwankungen des Meeres kann man die Ebbe und Fluth nur durch die Regelmäßigkeit ihrer Wiederkehr unterscheiden. Durch einige Zeit fortgesetzte Beobachtungen kann man denn auch beim Mittelmeer das Vorhandensein von Ebbe und Fluth, selbst im adriatischen Meere, bei Venedig und Triest, bemerken. Einige Gegenden des Mittelmeeres zeigen ebenfalls eine ziemlich bedeutende Fluth, so z. B. der Meerbusen von Cabes, die Küsten von Tunis, die Inseln Kerkeni, Phaila, der Canal von Negroponte u. a. In der Ostsee scheint das Steigen und Sinken des Meeres (wie Schultens Beobachtungen zeigen) theils vom Winde, theils vom ungleichen Drucke der Atmosphäre (daher ungleichem Barometerstande in den verschiedenen Gegenden der Ostsee) veranlaßt zu werden, indem das Wasser dem stärkeren Drucke der Atmosphäre an dem einen Orte nachgiebt und nach einem anderen Orte hinströmt, wo ein schwächerer Druck der Atmosphäre auf die Oberfläche des Meeres stattfindet; eine eigentliche Ebbe und Fluth aber, die regelmäßig wiederkehrte, scheint nicht stattzufinden. — Wo ein niedriges sich allmälig nach dem Meere zu abflachendes Ufer ist, pflegt die Fluth zwar eine größere Bedeckung vorher unbedeckten Landes zu bewirken, dagegen keine sehr auffallende Erhebung des Wassers stattzufinden; dieses ist dagegen vorzugsweise an steil aufsteigenden felsigen Ufern der Fall; hier finden die mit der Fluth kommenden Wellen einen unbesiegbaren Widerstand, thürmen sich daher auf, und indem die nachdrängenden Wellen die früheren drängen, erheben sie dieselben oft zu einer sehr beträchtlichen Höhe.

In nachstehender Tabelle befinden sich die in Füßen ausgedrückten Unterschiede des hohen und niedrigen Wasserstandes zur Zeit der Springfluthen in Häfen und an den Küsten *):

	Fuß		Fuß
Aberdeen Bar	14	Golf von St. Lorenz (Mingan)	11
Amboina-Bai	7	Guernsey, Insel	35
Annapolis (Nordamer.)	28	Halifax (Nordamer.)	8
Antwerpen	14	Hamburg	7
Bahama-Inseln	4	Hammerfest (Norw.)	9
Balasore (Ostind.)	12	Harwich	14
Baltimore (Irl.)	12	Havre de Grace	12
Bilbao	20	Helgoland	9
Bombay Castle (Ostind.)	17	Hull	22
Bordeaux	15	Jalacap (Japan)	8
Boston (Nordamer.)	12	Jamaica	0,7
Botany-Bay	7	Jersey (St. Aubin)	36
Bremerlehe	10	Inverneß	14
Brest	19	Isle de France	3
Brighton	16	King's Insel (Baß-Straße)	12
Bristol	40	Küste von Jütland	15
Cadix	10	Lerwick (Shetland-Inseln)	10
Cairston (Orkney-Inseln)	12	Limerik (Irl.)	16
Calais	19	Liverpool	27
Cap Cornwall (Engl.)	22	Loire (Mündung)	18
Cap Fairweather (Ostamer.)	28	London	18,5
Cap Finisterre (Portug.)	15	Macao	10
Cap Haity	2,5	Malaga	3
Cap Ray (Newfoundland)	8	Man, Insel	21
Carthagena (Columbia)	1	Manilla (Philippinen)	2,5
Cherbourg	20	Milford (Engl.)	36
Coring-Bai (Ostind.)	5,5	Minow (Insel)	15
Cork (Bucht)	18	Mokka	4
Cumberland (Bai von Fundy)	60	Montrose (Schottl.)	13
Curhaven	11	Mozambique (Insel)	12
Dee, Mündung (Schottl.)	26	Nantuket	6
Delagoa-Bai (Ostafr.)	13,5	Needles (Insel Wight)	9
Donegal (Irl.)	12	Newport	24
Dordrecht	7	New-York	7
Dublin	12	Nord-Wallis-Insel (Austral.)	12
Dünkirchen	19	Orange-Bay	4
Falmouth	18	Ostende	16
Funchal	9	Pernambuco	6
Galway-Bay (Irl.)	16	Plymouth	18
Georgetown (Nordamer.)	4	Port Bowen (Amer.)	6,5

*) Ausgezogen aus einer größern Tafel in Rümker's Handb. der Schifffahrtskunde rc. Hamb. 1844. S. 526—531.

	Fuß		Fuß
Portsmouth	16	Southampton	18
Prince of Wales (Insel)	9	St. Andreas-Bay (Schottl.)	15
Quebek	20	St. Malo	45
Rajahpoor	12	St. Thomas (Insel)	4,5
Ramsgate	21	Suez	7
Rhode Island	5	Tantang (China)	6
Rio Janeiro	4,5	Terceira	8
Rochefort	21	Texel (Mündung)	20
Rotterdam	7	Trincomale (Ceylon)	3
Saldan-Bai (Westafr.)	7	Trinidad	5
Santa Cruz	33	Valdivia (Amer.)	6
Schelde (Mündung)	18	Windsor (Nordamer.)	36
Sidney-Bay	7	Woolwich	18

Einzelne Gegenden bieten noch besondere Unregelmäßigkeiten dar. So findet in Tonking in Ostindien nur Eine Fluth und Eine Ebbe binnen 24 Stunden statt, außerdem hat jeder Monat zwei völlige Unterbrechungen der Fluthen, d. h. es findet eine Zeitlang gar keine Ebbe und Fluth statt; von einer solchen Ruhezeit des Meeres bis zur andern vergehen 14 Tage, während welcher das Meer Ebbe und Fluth zeigt, und am 7. Tage die höchste Fluth erreicht. In der einen Hälfte des Monats pflegt die höchste Fluth mit dem aufgehenden Monde einzutreten, in der zweiten Hälfte des Monats dagegen mit dem untergehenden Monde. — In der Meerenge von Malacca fließt das Wasser einen Theil des Jahres hindurch 9 Stunden lang zu und 3 Stunden lang ab, bei Vera Cruz dauert der Zufluß und Abfluß sogar 24 Stunden, und während eines Tages herrscht dort nur Eine Fluth und Eine Ebbe.

Wenn man aufmerksamer den regelmäßigen Gang der Ebbe und Fluth betrachtet, so zeigt sich bald ein merkwürdiger Zusammenhang dieser Naturerscheinung mit der Stellung des Mondes, welche derselbe gegen die Erde und Sonne einnimmt. Zunächst nämlich fällt auf, daß die volle Fluth täglich um 50 Minuten später eintritt und erst immer nach Verlauf von 14 Tagen wieder auf dieselbe Tagesstunde fällt; am Tage des Vollmondes ist die Zeit der Fluth genau dieselbe. Nun findet auch der Durchgang des Mondes durch den Meridian täglich 50 Minuten später statt; und wenn auch die Zeit des höchsten Wassers nicht genau mit dem Durchgange des Mondes durch den Meridian zusammenfällt, so findet man doch, daß der Durchgang des Mondes einen gleichmäßigen Gang mit dem Eintritte der vollen Fluth beobachtet, so nämlich, daß mit dem Eintritte des Mondes in den Meridian an jedem Tage fast genau derselbe Zustand der Fluth oder Ebbe zusammenfällt. Die Zeit, welche zwei ganze Fluthzeiten (wo sich Ebbe, Fluth, Ebbe, Fluth folgen) einnehmen, ist genau dieselbe, welche von einem Durchgange des Meridians bis zum andern vergeht. Man bemerkt ferner bei fortgesetzter Beobachtung, daß die Springfluthen (welche das höchste Wasser bringen) um die Zeiten des Vollmondes und Neumondes fallen, während die Nippfluthen (die unbedeutendsten Fluthen) zur Zeit der Mondsviertel eintreten. Gegen die Zeit des Vollmondes und Neumondes hin also wachsen die Fluthen und nehmen gegen die Zeit der Viertel wieder ab; die größten Fluthen aber treffen erst $1^1/_2$ Tage

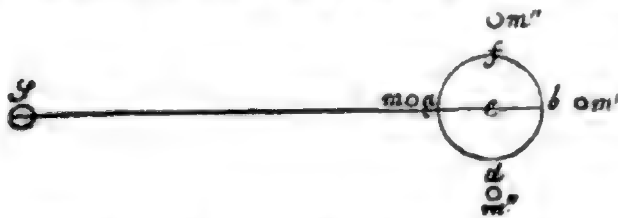
nach dem Neumonde oder Vollmonde ein und ebenso fallen die Nippfluthen nicht genau mit den Mondsvierteln zusammen. Die Zeit des Eintrittes der Fluth wird beschleunigt, wenn der Mond von der Conjunction oder Opposition (Neumond oder Vollmond) der Quadratur (Viertel) zugeht und verzögert, wenn derselbe von der Quadratur der Conjunction und Opposition entgegengeht. Endlich findet auch noch nach Verschiedenheit der Annäherung des Mondes an die Erde eine Verschiedenheit der Höhe der Fluthen statt, so nämlich, daß bei der Erdnähe des Mondes die Fluthen im Allgemeinen bedeutender sind, als bei der Erdferne desselben. Auch die größere Nähe der Sonne wirkt zur Vergrößerung der Fluthen. Zur Zeit der Nachtgleichen sind die Springfluthen am größten, zur Zeit der Sonnenwenden am kleinsten, auf der nördlichen Halbkugel sind Morgens die Springfluthen im Winter größer, im Sommer kleiner als Abends. Die größten Fluthen treten dann ein, wenn die Nachtgleiche mit einem Neu- oder Vollmonde und der Erdnähe des Mondes und der Sonne zusammenfällt.

Nach diesen Beobachtungen, aus denen sich ein Zusammenhang zwischen den verschiedenen Stellungen von Sonne, Erde und Mond unter einander mit Fluth und Ebbe ergiebt, hat man nun der ganzen Erscheinung folgende, durch die demnach angestellte Berechnung bestätigte, Erklärung gegeben. Nimmt man an, die Erde sei ein überall von Wasser bedeckter Körper, welcher eine unveränderliche Stellung gegen den Mond einnehme. Diese Stellung hätte sich ein für allemal dadurch bestimmt, daß der Mond gegen die Erde eine gewisse Anziehung ausübe. Ursprünglich sei die Gestalt der Erde kugelförmig gewesen; so ist gewiß, daß der Mittelpunkt der Erde schwächer vom Monde angezogen wird, als der dem Monde zunächst liegende Theil der Erde, und stärker als der von dem Monde am entferntesten liegende Theil derselben. Gemäß dem Grade, in dem auf der einen Seite die Erde stärker, auf der anderen Seite schwächer als ihr Mittelpunkt vom Monde angezogen wird, wird sich ihre Oberfläche nun auch, wenn sie flüssig ist, aus der Kugelgestalt heraus begeben und auf der einen Seite dem Monde sich verhältnißmäßig mehr nähern, auf der andern Seite verhältnißmäßig ferner von demselben bleiben. Nehmen wir an, a (in beistehender Figur) sei der Mond, c der Mittelpunkt der Erde, so würde die ursprüngliche Gestalt der Erde kugelförmig wie d m e n sein; da aber die Anziehung des Mondes auf sie wirkt, so wird sie in der That die Gestalt f h g k annehmen; wie sie sich nämlich nach f und g ausdehnt, muß sie sich, da ihre Masse unveränderlich dieselbe bleibt, nach h und k zu zusammenziehen.



Es wird folglich bei f und g Anschwellung des die Oberfläche der Erde bedeckenden Wassers, oder Fluth stattfinden, während bei d und e ein Zurücktreten von der ursprünglichen Oberfläche des Wassers, Ebbe, eintritt. Nun aber steht die Erde nicht still, sondern bewegt sich, folglich werden die Punkte f und g, wo volle Fluth ist, und ebenso die Punkte h und g, wo tiefste Ebbe ist, nicht fortwährend dieselben bleiben, sondern sich um die Erde bewegen, die Punkte g und f, d. h. die Punkte hoher Fluth werden auf diejenigen Punkte der Erde fallen, durch deren Meridian eben der Mond geht (auf der einen oder der anderen Seite der Erde). So wäre zunächst erklärt, warum im Verlauf eines Tages 2 Fluthen und 2 Ebben eintreten, und welch ein

Zusammenhang zwischen der Stellung des Mondes zur Erde und der Fluth und Ebbe stattfindet. Aehnlich wie der Mond wird nun auch die Sonne auf die Erde wirken; aber obschon an sich die Anziehung der Sonne größer als die des Mondes ist, wird die Wirkung der Sonne auf Fluth und Ebbe doch schwächer sein als der Einfluß des Mondes, weil, gegen die große Entfernung der Sonne von der Erde, der Durchmesser der Erde eine sehr unbedeutende Größe ist, also der Unterschied der Anziehung gegen die Oberfläche und der Anziehung gegen den Mittelpunkt der Erde nur gering sein wird. Doch ist dieser Unterschied hinreichend, um, wenn die Anziehung der Sonne der des Mondes zu Hülfe kommt, die Fluth zu verstärken, und dagegen, wenn Sonne und Mond im entgegengesetzten Sinne wirken, die Fluth zu schwächen. Ist die Stellung der drei Himmelskörper, so wie beistehende Figur sie zeigt,



(und wie sie zur Zeit des Neumondes stattfindet), wo s die Sonne, m den Mond, e die Erde vorstellen mag, so wird offenbar die Fluth größer sein, weil Sonne und Mond zusammen gegen die Erde wirken. Dasselbe wird der Fall sein, wenn der Mond bei m' steht (wie zur Zeit des Vollmondes der Fall ist), weil jede höhere Fluth auf der einen Seite der Erde auch eine höhere Fluth auf der anderen Seite derselben zu Folge hat. Der Mond verstärkt die Fluth auf beiden Seiten und ebenso auch die Sonne, es wird also im Ganzen die Fluth bei solcher Stellung der Gestirne durch den Einfluß des Mondes sowohl als der Sonne verstärkt werden. Hat dagegen der Mond eine der Stellungen m'', so sucht er eine Fluth nach d und f zu bewirken, während die Sonne in s eine Fluth nach a und b zu bewirken strebt; der Einfluß beider Gestirne wirkt also nicht zusammen, es entsteht eine Fluth, die zwischen b und d und ebenso zwischen a und f ihre größte Höhe hat, welche aber geringer ist, als wenn Sonne und Mond mit ihrer Anziehung einander zu Hülfe kämen. Während die Sonne allein bei b Fluth, bei d Ebbe bewirken würde, würde der Mond allein bei d Fluth, bei b Ebbe hervorbringen; es fällt demnach Sonnenfluth und Mondebbe, so wie Sonnenebbe und Mondfluth zusammen, welches eine Schwächung der Fluth nothwendig zur Folge hat. Hieraus ergiebt sich, wie bei den Syzygien (Neumonden und Vollmonden) Springfluthen, bei den Quadraturen dagegen Nippfluthen stattfinden. Die Ableitung der Fluth und Ebbe aus der Anziehung des Mondes und der Sonne zeigt nun auch mit Leichtigkeit den Grund an, warum die Erdnähe des Mondes und der Sonne zu Verstärkung der Fluthen beitrage, indem die Anziehung eines näheren Körpers stärker als die eines entfernteren von gleicher Masse ist. Bei dieser ganzen nach Newton gegebenen Erklärung der Naturerscheinung wurde vorausgesetzt, daß die Erde ein überall von Wasser umgebener Körper sei; der Umstand, daß dieses in der That nicht der Fall ist, vielmehr Land und Meer sehr unregelmäßig auf der Oberfläche der Erde vertheilt sind, enthält die Erklärung, warum es nothwendig ist, daß eine große Ungleichförmigkeit der Erscheinung der Ebbe und Fluth, gemäß der mannigfaltigen Untereinanderwürfelung von Meer und Land stattfinde, daß endlich nur bei großen Meeren die ganze Erscheinung eintreten könne, wo ein Anhäufen des Wassers gleichzeitig mit einem Zurücktreten desselben anderwärts zusammentreffen kann.

Die Umdrehung der Erde von Westen nach Osten bringt es mit sich, daß

auf dem offenen Meere das Wasser von Osten her anschwillt und gegen Westen zu wieder abläuft, in der Nähe der Küsten haben aber auch andere Strömungen im Meere, Winde, einmündende Flüsse, Lage der Küsten gegen einander wie auf Geschwindigkeit und Größe des Zu- und Abströmens, so auch auf die Richtung einen großen Einfluß. Zwischen den Orkney-Inseln und den shetländischen Inseln fließt das Wasser von Nordwest zu und nach Südost ab, in der Davisstraße kommt es von Süd und fließt nach Nord ab; die mittlere Geschwindigkeit des Zu- und Abflusses wird in offener See zu 2 Fuß angenommen. Es ist leicht einzusehen, daß sich eine Linie durch alle diejenigen Küstenpunkte ziehen läßt, welche zu gleicher Zeit volle Fluth, d. i. Hochwasser haben, z. B. um 1 Uhr Mittags an einem gegebenen Tage, ferner eine Linie durch alle diejenigen Punkte, wo das Hochwasser eine Stunde später, mithin um 2 Uhr eintritt u. s. f. für alle 24 Stunden des Tages. Daraus entsteht für die gesammte Wasserfläche der Erdoberfläche eine Reihe von 24 Linien gleicher Fluthzeit, welche W. Whewell zwar „Cotidal Lines" nennt, die sich aber auch „Isorachien" (von ἴσος gleich und ῥαχία Fluth) nennen lassen. Man kann nun die Isorachie für irgend eine Tagesstunde als Stellvertreter des Gipfels oder Rückens der Fluthwelle dieser Stunde betrachten, und die Isorachien für die auf einander folgenden Tagesstunden stellen dann die allmälige Lage des Gipfels der Fluthwelle vor. Man sehe hierüber unter Anderem auch H. Berghaus Physikal. Atlas. 2. Abthg. Allgem. hydrographischer Atlas 1850. Gotha. Nr. 1. Fluth und Ebbe.

Besondere Modificationen kann die Fluth und Ebbe in Kanälen, welche große Meere mit einander verbinden, erleiden, in Häfen und kleineren Meeren, die mit dem Ozean in Verbindung stehen. Die letzteren erhalten die Fluth nur durch Einströmen des Wassers aus den größeren Meren, und es ist dann ein Fortschreiten der Fluth zu bemerken. Vereinigen sich Stürme mit Fluthen, die ohnedies wegen der Stellung der Gestirne Sonne und Mond eine ungewöhnliche Höhe erreichen würden, so können diese Sturmfluthen oft unermeßlichen Schaden anrichten, wie z. B. den 1. und 2. Februar 1825 an den Küsten des nördlichen Deutschlands der Fall war. In diesen Tagen fielen der Vollmond (den 3. Februar), die Erdnähe und beinahe auch der südliche Durchgang des Mondes durch den Aequator (den 5. Februar) nahe zusammen. Außerdem fand am 3. Febr. auch die Zusammenkunft des Mondes mit dem Jupiter statt, welches (wie Sommer bemerkt) auch nicht ohne Einfluß war. Der Sturm trieb die durch die angeführten Umstände ohnedem ungewöhnlich hohe Fluth so empor, daß dieselbe die höchsten Dämme überstieg oder beschädigte, ja zerstörte und die deutsche und niederländische Nordseeküste weithin überschwemmte und verheerte.

Die genaue Kenntniß der Zeiten und Höhen des hohen Wassers an möglichst vielen Punkten der Erdoberfläche ist für die Nautik oder Schifffahrtskunde ein ungemein wichtiger Gegenstand, welchen also die nautischen Lehrbücher ausführlich behandeln. Gewöhnlich werden die dazu erforderlichen Berechnungen mit Hülfe von Tafeln, die z. B. die Hafenzeit vieler Seestädte enthalten, ausgeführt. Besonders haben die in Häfen einsegelnden, beladenen Seeschiffe außer der Geschwindigkeit und Richtung der Fluth auch die Höhe derselben zu berücksichtigen. Es ist nicht allein die größere Entfernung der Sonne von der Erde, welche verursacht, daß ihre soviel größere Anziehungskraft geringere Wirkung, als die des Mondes auf Erzeugung der Fluthen äußert, sondern auch der Umstand, daß es nicht die

Anziehungskraft selbst, sondern ihr Unterschied am Mittelpunkte und an der Oberfläche der Erde ist, welcher zur Hervorbringung der Fluth verwendet wird. Dieser Unterschied ist aber im Verhältniß zu der Kraft selbst, wie der Erdhalbmesser zur Entfernung des anziehenden Körpers.

Wenn bei der umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernung wirkenden Anziehungskraft der Sonne S ihre Masse, E ihre in Erdhalbmessern ausgedrückte Entfernung bezeichnet, so ist nach Rümker $\frac{S}{E^2}$ ihre Anziehungskraft auf den Mittelpunkt der Erde und $\frac{S}{E^3}$ das Maximum der Verwendung auf die Höhe der Fluth, ferner $\frac{M}{e^3}$, wo M und e die Masse des Mondes und seine Entfernung von der Erde bezeichnen, das Maximum der Anziehungskraft des Mondes auf die Fluth. Nun sind aber $\frac{1}{E}$ und $\frac{1}{e}$ die Sinus der resp. Horizontalparallaxen P und p, deren Verhältniß dem ihrer Bogen gleichgesetzt werden kann. Mithin verhalten sich die Wirkungen der Sonne und des Mondes im Zenith auf die Fluthhöhen, wie die Producte ihrer Massen mit den Würfelzahlen ihrer Parallaxen. Setzen wir

$$S = 329809\,,\ M = \frac{1}{68{,}5},\ P = 8'',577\,,\ p = 3421'';$$

so ist dieses Verhältniß

$$(329809 \times 8{,}577^3) : \left(\frac{1}{68{,}5} \times 3421^3\right), \text{ d. h. } = 2{,}1 : 5{,}8.$$

Es verhalten sich mithin die aus ihrem Zusammenwirken in den Syzygien entstehenden Springfluthen zu den niedrigen Fluthen zur Zeit der Quadraturen, wie (5,8 + 2,1) : (5,8 — 2,1), d. h. wie 7,9 : 3,7. — Nun ist jedoch die Mondbahn eine solche Ellipse, daß die mittlere Entfernung um $^1/_{18}$ sich vergrößern oder verkleinern, also seine Horizontalparallaxe von 54 bis 61 Minuten zunehmen kann. Mithin muß sich die Erniedrigung der Fluth in der Erdferne des Mondes zu ihrer Erhöhung in seiner Erdnähe, wie die Würfel der Horizontalparallaxen, d. i. wie 2 : 3 verhalten, also die Springfluth in der Erdnähe zu der niedrigen Fluth in der Erdferne wie 8 : 2, d. h. wie 4 : 1. Aus demselben Grunde muß auch die Sonnenfluth im Winter höher, als im Sommer sein.

Wenn nun m das aus Erfahrung bekannte Maximum des der Fluth zuzuschreibenden hohen Wassers über dem mittlern Wasserstande, B die geographische Breite des Hafens, H die Meridianhöhe oder Meridiandepression des Mondes, p die in Minuten ausgedrückte Horizontalparallaxe desselben und h die mit dem Meridiandurchgange des Mondes als Stundenwinkel berechnete Höhe der Sonne bezeichnet; so läßt sich unter Voraussetzung einer directen Einwirkung der Gestirne auf die respectiven Meere der hohe Wasserstand für irgend eine andere Fluth durch den Ausdruck

$$m \left\{ \frac{0{,}000003234\ P^3 \sin H}{\cos (B - 28^0)} + \frac{0{,}266 \sin h}{\cos (B - 28^0)} \right\}$$

bestimmen. Hieran knüpft Rümker noch folgende nicht unwichtige Bemerkungen.

Der Mond kommt dem Zenith der Orte, deren geographische Breite gleichnamig, jedoch mit der Declination des Mondes größer als dieselbe ist, in der obern Culmination näher, als in seiner untern Culmination ihrem Nadir. Folglich müssen unter diesen Umständen, abgesehen von dem Alter der Fluth, die Fluthen nach der obern Culmination des Mondes größer, als die nach seiner untern Culmination sein; bei ungleichnamiger Declination wird natürlich das Gegentheil stattfinden. Da nun im Sommer auf der nördlichen Hemisphäre der Erde die obere Culmination des Neumondes bei nördlicher Declination desselben um Mittag, die des Vollmondes bei südlicher Declination um Mitternacht eintritt, so folgt hieraus, daß im Sommer die Springfluthen des Abends stärker als des Morgens sind. Im Winter tritt das Umgekehrte ein.

Da die Entfernung des Mondes von den Polen nie mehr als 28° abweicht, so beschreibt der Mond beinahe einen Parallelkreis um die dem Pole nahe gelegenen Orte, so daß also über 65° der geographischen Breite der Wasserstand sich im Laufe eines Tages wenig, dagegen bedeutend im Verlaufe eines Monats mit der Declination des Mondes ändern muß. Diejenigen Orte, deren Breite gleich dem Complemente der Declination des Mondes, jedoch ungleichnamig ist, haben Ebbe. — Auf offener See, wo die Fluthwellen keinen Widerstand erfahren, können sich die Fluthen weniger, als in einer gegen die Richtung der Fluthwelle offenen Meeresbucht erhöhen, in welcher, wenn Wind und Wetter unberücksichtigt gelassen werden, die höchsten Fluthen nach einer im Zenith stattgefunden totalen Sonnenfinsterniß zur Zeit einer Conjunction der Hauptplaneten eintreten sollten. — Die hier stehende Tafel

Wahre Zeit des Meridian-Durchganges des Mondes		Halbmesser des Mondes					
		16′	30″	15′	30″	14′	30″
		A	B	A	B	A	B
0 U. 0 M.	24 U. 0 M.	0,99	0,15	0,88	0,12	0,79	0,08
0 40	23 20	1,10	0,04	0,97	0,03	0,87	0,02
1 20	22 40	1,14	0,00	1,00	0,00	0,90	0,00
2 0	22 0	1,10	0,04	0,97	0,03	0,87	0,02
2 40	21 20	0,99	0,15	0,88	0,12	0,79	0,08
3 20	20 40	0,85	0,32	0,75	0,25	0,68	0,18
4 0	20 0	0,67	0,53	0,59	0,41	0,53	0,29
4 40	19 20	0,46	0,75	0,41	0,59	0,37	0,41
5 20	18 40	0,28	0,96	0,25	0,75	0,23	0,53
6 0	18 0	0,13	1,13	0,12	0,88	0,11	0,62
6 40	17 20	0,03	1,24	0,03	0,97	0,03	0,68
7 20	16 40	0,00	1,28	0,00	1,00	0,00	0,70
8 0	16 0	0,03	1,24	0,03	0,97	0,03	0,68
8 40	15 20	0,13	1,13	0,12	0,88	0,11	0,62
9 20	14 40	0,28	0,96	0,25	0,75	0,23	0,53
10 0	14 0	0,46	0,75	0,41	0,59	0,37	0,41
10 40	13 20	0,67	0,53	0,59	0,41	0,53	0,29
11 20	12 40	0,85	0,32	0,75	0,25	0,68	0,18
12 0	12 0	0,99	0,15	0,88	0,12	0,79	0,08

kann benutzt werden, um aus der durch Erfahrung bekannten mittlern Höhe der Spring- und niedrigen Fluthen die Höhe der Fluth für irgend einen andern Tag an dem nämlichen Orte zu bestimmen. Man hat nämlich die in der Tabelle unter dem Halbmesser des Mondes und gegen die wahre Zeit des Monddurchganges gefundene Zahl A mit der mittlern Höhe der Springfluthen und die auf gleiche Weise gefundene Zahl B mit der mittlern Höhe der niedrigen Fluthen zu multipliciren. Dann ist die halbe Summe beider Producte die ungefähre Höhe der Fluth, wobei freilich Wind und sonstige unvorhergesehene Umstände nicht berücksichtigt sein können, weil natürlich die Stärke und die Richtung der Fluthströme stets der Einwirkung der vom Winde erzeugten Ströme unterworfen sind.

Eine sehr ausführliche, mit 21 Tafeln versehene Abhandlung über die Zeiten und Höhen der vollen Fluthen (Hochwasser), gegründet auf in den Londoner Docks angestellte Beobachtungen, die mit einer Berechnungs-Theorie verglichen, hat J. W. Lubbock in der am 16. Juni 1831 gehaltenen Sitzung der Royal Society of London vorgelesen. Diese Abhandlung, welche den Titel führt: „On the Tides in the Port of London", steht in den Philos. Transactions of the Roy. Soc. of London for the year MDCCCXXXI. Part. II. p. 379—415.

Bei Erdbeben findet häufig eine ganz ungewöhnliche Ebbe und Fluth statt, indem das Wasser des Meeres oft große Strecken zurücktritt und dann mit ungeheurer Gewalt zurückströmt und Verheerungen anrichtet. Die Wirkungen solcher ungewöhnlichen Schwankungen des Meeres werden dann zuweilen sehr weit empfunden. So zog sich bei dem großen Erdbeben zu Lissabon 1755 am 1. Nov. das Meer erst weit zurück, sogleich aber stürzte eine 50 Fuß hohe Woge heran. An demselben Tage wurden Schwankungen der Meere an den englischen und holländischen Küsten, ja sogar an den Küsten Amerikas wahrgenommen.

Es ist gleich zu Anfange des Artikels bemerkt worden, daß die Erscheinung der Ebbe und Fluth auch in großen Flüssen wahrgenommen werde. Man bemerkt hier aber dieses Phänomen nur von der Mündung ab auf eine meist nur geringe Strecke im Verhältniß zur ganzen Länge des Stromes. Je weniger Fall die Flüsse nach der Mündung zu haben, desto weiter und bedeutender erstreckt sich die Fluth in sie hinein; so wird z. B. erzählt, daß der Amazonenfluß noch 200 französische Meilen von seiner Mündung ab bemerklich Ebbe und Fluth habe. Um bis Rouen hinaufzusteigen braucht in der Seine die Fluth 16 Stunden, bis London in der Themse 3 Stunden. Durch die Fluth im Meere wird nämlich der freie Abfluß des Stromes in das Meer gehindert, welches ein Anschwellen desselben zur Folge hat; so theilt sich ihm die Fluth des Meeres mit, und zwar wird das Anschwellen des Flusses zuerst bei seiner Mündung, und später erst weiter hinauf bemerklich; es geht endlich in ein bloßes Aufstauen des Ebbestromes über. So wie im Meere die Ebbe eintritt, theilt sie sich auch nach und nach der ganzen Strecke des Flusses mit, an der vorher ein Anschwellen bemerkt wurde; und es kann wegen dieser allmäligen Mittheilung der Fluth und Ebbe an den Fluß vom Meere aus, in dem letzteren schon wieder Ebbe eingetreten sein, während oberwärts im Flusse noch Fluth ist. Bei sehr heftigen Fluthen im Meere kann ein Fluß so aufgehalten werden, daß er über seine gewöhnlichen Ufer weit hin übertritt und das umliegende Land überschwemmt.

Die besonderen örtlichen Beschaffenheiten gestalten in den Flüssen die Fluth zu den merkwürdigsten Erscheinungen. Brandes führt die Leakies im Flusse

Forth an. Hier ist nach Wrights Erzählung zwischen Queens-Ferry (7 engl. Meilen oberhalb Leith) und einem Orte, den er the house of Manor nennt, eine solche Krümmung, daß man auf dem Strome 25 engl. Meilen, dagegen auf geradem Wege nur 4 engl. Meilen hat. In dieser Gegend wird die Fluth einige Zeit durch ein Sinken des Wassers und die Ebbe durch ein Steigen des Wassers unterbrochen, und nachher geht in jenem Falle die Fluth, in diesem die Ebbe weiter fort. Diese Erscheinung fängt gewöhnlich bei Queens-Ferry an, aber erst an einem höheren Punkte, wenn der Strom viel Wasser hat oder Springfluthen sind; dagegen erstreckt sie sich bei höherem Stromwasser oder Springfluthen höher hinauf bis oberhalb Stirling. Brandes meint, die Erscheinung müsse wohl darin ihren Grund haben, daß die Fluthwelle zertheilt in der Krümme vorwärts stürzt, was sich vielleicht durch die Zurückwerfung von den Ufern erklärt.

Ebenso merkwürdig ist die Mascara oder der Mascaret in der Dordogne, welche bei jeder Fluth in der Dordogne eintritt, sobald niedriger Wasserstand ist. Derselbe ist eine, bald nur wie eine Tonne, bald wie ein kleines Haus hohe Wassermasse, die sich ohnweit des Einflusses der Dordogne in die Garonne bildet, und mit einer großen Geschwindigkeit und Stärke längs dem Ufer unter lautem Getöse am Ufer des Flusses hinaufwälzt. Sie kann Schiffe zerbrechen und versenken, steinerne Einbaue zertrümmern. An einigen Orten zertheilt sich der Mascaret in Wellen, weiterhin bildet er wiederum eine Wassermasse. Der Grund dieser Erscheinung ist darin zu suchen, daß die Fluth aus dem Meere sich in die Gironde ergießt, von da in die breite Garonne; während jedoch diese schief dem Strome der Fluth sich entgegenstellt und von bedeutender Breite ist, stellt sich die enge Dordogne demselben in gerader Richtung entgegen, die Fluth ist also genöthigt hoch anzuschwellen und stürzt mit desto größerer Gewalt in den Strom ein, je weniger Wasser derselbe führt und ihr entgegenbringt. Bei der Severn bringen ähnliche Umstände eine ähnliche Erscheinung hervor. Die bis auf 45 Fuß anschwellenden Springfluthen wälzen sich zu einem Damme von 9 Fuß Höhe aufgethürmt den Fluß hinauf.

Noch großartiger ist eine ähnliche Erscheinung der Springfluthen an der Mündung des Amazonenstromes beim Nordcap und an der südwestlich davon ins Meer sich ergießenden Para. In drei Viertelstunden erhebt sich hier das Wasser zu einer Höhe, die größer als diejenige ist, welche es sonst bei gewöhnlichen Fluthen in 6 bis 7 Stunden erreicht. Besonders zwischen dem Nordcap und der Schanze Macapa hört man vor dem Eintritte der Fluth ein furchtbares Getöse, das der noch ein bis drei Seemeilen entfernten Fluth vorausgeht. Das Tosen nimmt schnell zu und bald sieht man ein 12 bis 15 Fuß hohes langausgedehntes Wassergebirge heranstürzen, dem ein zweites, drittes und viertes folgt. Es kann gewaltige Verheerungen anrichten. Das Gestade, auf welches die Fluth losbricht, wird von derselben überall so rein, als wenn es sorgsam gefegt worden wäre. Die ganze Erscheinung wird von den Wilden am Amazonenstrome Pororoka genannt. Der Bore am Ganges, der 20 Fuß in der Secunde zurücklegt, ist eine entsprechende Erscheinung.

Jahn.

Ebene oder gerade Fläche heißt jede Fläche, in der sich von jedem Punkte aus nach jeder Richtung gerade Linien ziehen lassen, so daß diese vollständig in dieselbe fallen. Auf dieser mathematischen Definition der Ebene beruhen diejenigen

Begriffe, die man in den physischen Wissenschaften mit der Ebene verbindet. Für sich allein, selbstständig, kommen in der Natur Flächen überhaupt, also auch Ebenen nicht vor; sie finden sich nur an Körpern, indem sie die Begrenzung derselben bilden, und in dieser Rücksicht Oberflächen, Seitenflächen heißen. Da in der Natur alle Oberflächen der Körper mehr oder weniger mit Erhöhungen (Unebenheiten) versehen sind, so pflegt man diejenigen Flächen, welche nur geringe Unebenheiten zeigen, deren Höhe gegen die Ausdehnung der ganzen Fläche als verschwindend klein erscheint, Ebenen zu nennen, und in der physischen Geographie, wo die Ebenen den Berggegenden entgegengesetzt werden, nennt man wiederum nur diejenigen mit geringen Unebenheiten versehenen Flächen (Theile der Oberfläche der Erde) Ebenen, welche horizontal sind, d. h. auf denen das Loth (die Falllinie) überall senkrecht steht.

Die Oberfläche des Meeres, der Meeresspiegel, ist, wenn man von der größeren oder geringeren Erhebung der Wellen absieht, die vollkommenste physische Ebene. Unter die Ebenen auf dem Festlande gehören vorzüglich die Sandwüsten, die Llanos in Südamerika und die Steppen und Haiden, worüber das Nähere in besonderen Artikeln vorkommen wird.

In einem weiteren Sinne, als in der physischen Geographie, ist in der Mechanik von Ebenen die Rede. Bei der einfachsten theoretischen Betrachtung in der Mechanik wird vorausgesetzt, daß jede Ebene eine mathematisch genaue Ebene sei, d. h. in ihrer Oberfläche keine Erhebungen (Unebenheiten) habe, und daß dieselbe einem auf ihr ruhenden Körper eine durchaus feste, nicht eindrückbare Unterlage darbiete, denn durch jede Einsenkung würde dieselbe aufhören eine Ebene zu sein. Eine Ebene, welche mit einem auf beiden Seiden ganz gleich belasteten Wagebalken parallel ist, heißt eine wagerechte oder eine horizontale Ebene. Die letztere Benennung hat im Folgenden ihren Grund. Jeder nur vermöge seiner Schwere nach der Erde herabfallende Körper beschreibt eine gerade Linie, welche verlängert durch den Mittelpunkt der Erde geht; befinden wir uns nun an demselben Punkte, an welchem der fallende Körper die Oberfläche der Erde berührt, und denken wir uns eine Ebene durch den genannten Punkt so gelegt, daß die Richtungslinie des Falles senkrecht auf derselben steht, so schneidet diese Ebene in der scheinbaren Himmelskugel den Horizont ab, und heißt deswegen die Horizontalebene, und es ist dieselbe Ebene parallel mit einem auf beiden Seiten gleichbelasteten Wagebalken. Ein auf der Horizontalebene ruhender Körper drückt vermöge seiner Schwere senkrecht gegen dieselbe, welchem Drucke die Ebene einen unüberwindlichen Widerstand entgegensetzt, daher kein Fallen desselben möglich ist. Alle Kräfte, welche wie die Schwere auf den Körper senkrecht gegen die Ebene wirken, werden ebenso durch die Ebene aufgehoben, so daß sie keine Bewegung des Körpers hervorzubringen im Stande sind. Jede Kraft P, welche nicht senkrecht gegen die Ebene auf den Körper wirkt, läßt sich in zwei Kräfte*) N und H zerlegen, von denen die eine senkrecht gegen die Ebene auf den Körper wirkt, auf dessen Bewegung also ohne Einfluß bleibt, die andere dagegen parallel damit den Körper in Bewegung setzt.



*) Siehe den Art. Bewegung. Bd. I.

Jede Ebene dagegen, welche mit der Horizontalebene einen Winkel macht, dieselbe schneidet, heißt eine *schiefe* oder *geneigte Ebene* (auch *schiefe Fläche*). Angenommen ONVU sei die Horizontalebene und ONMT sei eine Ebene, welche jene in der geraden Linie ON schneidet, so ist ONMT eine schiefe Ebene. Ist nun die Aufgabe, *eine Last soll eine schiefe Ebene hinaufbewegt werden*; so ist zunächst der *Neigungswinkel* zu berücksichtigen, welchen die schiefe Ebene gegen die Horizontalebene macht, und dann der Winkel, welchen die Richtung der Kraft mit der schiefen Ebene einschließt. Was den Neigungswinkel der beiden Ebenen betrifft, so findet man ihn bekanntlich, wenn man in der Ebene ONMT einen beliebigen Punkt A annimmt, und von demselben eine Senkrechte AB auf die Ebene ONVU fällt, hierauf von B in der Ebene ONVU auf die Linie NO eine Senkrechte fällt und von dem Fußpunkte C derselben eine gerade Linie nach A zieht: der Winkel ACB ist der Neigungswinkel der beiden Ebenen ONMT und ONVU. Die Richtung der Kraft kann entweder parallel der schiefen Ebene gehen, oder parallel der Horizontalebene, oder endlich unter irgend einem Winkel gegen die schiefe Ebene geneigt sein.

I.

Gesetzt CA liege in der schiefen Ebene, welche unter dem Neigungswinkel ACB gegen die Horizontalebene, in der CB liegt, geneigt ist, und Q sei eine Last, welche durch das Gewicht P an dem Herabrollen auf der schiefen Ebene gehindert werden soll, die Richtung der Kraft, mit welcher das Gewicht P auf die Last Q wirkt, sei zuerst *parallel mit der schiefen Ebene*. Man kann sich dieses so vorstellen, daß das Gewicht P mit einer Schnur über eine Rolle bei A geht, so daß oN parallel CA ist. Die Frage ist: welches muß das Verhältniß zwischen P und Q, d. h. zwischen Last und Kraft sein, damit die Last Q durch die Kraft P vor dem Herabgleiten oder Herabrollen auf der schiefen Ebene bewahrt werde? — AC heißt die *Länge* der schiefen Ebene, AB die *Höhe* und BC die *Basis* derselben. Vermöge ihrer Schwere sucht die Last Q wie jeder schwere Körper senkrecht nach der Horizontalebene herabzufallen. Deuten wir die Größe dieser Kraft, mit welcher Q vermöge seiner Schwere herabgetrieben wird, durch die Linie oe an, welche durch den Schwerpunkt des Körpers geht und der senkrecht auf der Horizontalebene und auf CB steht, so läßt sich dieselbe in in zwei Kräfte on und om zerlegen, von denen die eine on senkrecht gegen die schiefe Ebene, die andere om mit derselben parallel gerichtet ist. Durch den unüberwindlichen Widerstand, welchen eine Ebene einer senkrecht gegen sie gerichteten Kraft entgegengesetzt, wird offenbar die Wirkung der Kraft on aufgehoben, und es bleibt allein die Kraft om übrig, durch welche in Bewegung gesetzt Q von der schiefen Ebene herabgleiten würde, wenn

II.

nicht die Kraft P dieser durch om ausgedrückten Kraft entgegenwirkte, und zwar wird jene diese nur dann aufzuheben im Stande sein, wenn sie ihr gleich ist. Da nun oe die Kraft ausdrückte, durch welche Q durch seine Schwere senkrecht auf die Horizontalebene herabgetrieben wird; so ergiebt sich das Verhältniß

$$P : Q = om : oe$$

Das Dreieck ome ist ähnlich dem Dreiecke ABC, wie leicht einzusehen ist, denn der Winkel ome ist = ABC, weil beide Winkel rechte sind, und der Winkel moe ist = CAB, weil om parallel AC und oe parallel AB ist. Daraus folgt denn das Verhältniß

$$om : oe = AB : AC$$

und aus der Vergleichung dieses Verhältnisses mit dem obigen

$$P : Q = AB : AC$$

Da AB die Höhe der schiefen Fläche über der Grundfläche, AC die Länge der schiefen Fläche ist; so muß sich also (unter den oben angegebenen Bedingungen) die Kraft P verhalten zur Last Q, wie die Höhe der schiefen Fläche zur Länge derselben. Ist also z. B. die Höhe der schiefen Fläche halb so groß als die Länge derselben ($AB = \frac{1}{2} AC$), so muß damit Last und Kraft im Gleichgewichte bleiben, oder, was dasselbe, damit Q nicht auf der schiefen Ebene abgleitet, das Gewicht P halb so groß sein als Q. Nehmen wir an, daß AB = 0 wird, d. h. daß die Ebene AC mit der horizontalen Ebene AB zusammenfällt, oder daß Q auf einer horizontalen Ebene liegt, so ergiebt sich, daß auch P = 0 wird, d. h. daß kein Gewicht nöthig ist, sondern Q, ohne durch eine Kraft gehalten zu werden, auf der Ebene CB ruhen bleibt.

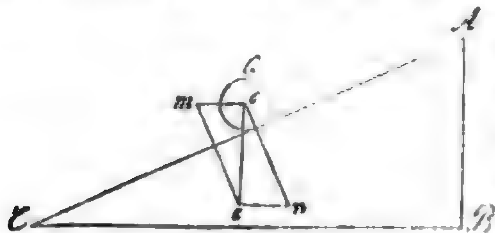
Aus der Proportion $P : Q = AB : AC$ folgt $P = Q \cdot \frac{AB}{AC}$.

Nun ist aber $\frac{AB}{AC} = \sin C = \sin \alpha$, wenn man den Neigungswinkel C der schiefen Ebene durch α bezeichnet. Demnach $P = Q \cdot \sin \alpha$.

Die normale Seitenkraft on stellt den Druck dar, welchen die schiefe Ebene vom Gewicht des Körpers auszuhalten hat. Dieser Druck ergiebt sich aus der Proportion $on : oe = BC : AC$ oder, wenn man $on = N$ setzt, $N : Q = BC : AC$, und hieraus $N = Q \cdot \frac{BC}{AC} = Q \cos \alpha$, da $\frac{BC}{AC} = \cos \alpha$ ist.

Die Kraft $Q \sin \alpha$, womit der Körper auf der schiefen Ebene herabzugleiten strebt, nennt man im Gegensatz gegen sein absolutes, mitunter auch sein relatives oder respectives Gewicht.

Wirkt aber zweitens übrigens unter denselben Voraussetzungen, die Kraft P auf die Last Q in einer der Horizontalebene parallelen Richtung, so wird sich das Verhältniß P : Q anders gestalten. Es bezeichne wiederum oe die Kraft mit der Q vermöge seiner Schwere senkrecht auf die Horizontalebene herabgetrieben wird, so können wir dieselbe nach dem Satze vom Parallelogramm der Kräfte in die beiden Kräfte on und om zerlegen, von denen on senkrecht auf der schiefen Ebene steht, und om parallel



der Horizontalebene ist. Durch den Widerstand der schiefen Ebene wird on unwirksam gemacht, und nur noch die Kraft om ist durch P aufzuheben, damit Q von P gehalten werde. Hieraus ergiebt sich denn das Verhältniß

$$P : Q = om : oe$$

Die Seiten des Dreieckes ome stehen der Reihe nach senkrecht auf den Seiten des Dreieckes ABC, folglich sind die Dreiecke ähnlich, und geben das Verhältniß

$$om : oe = AB : BC,$$

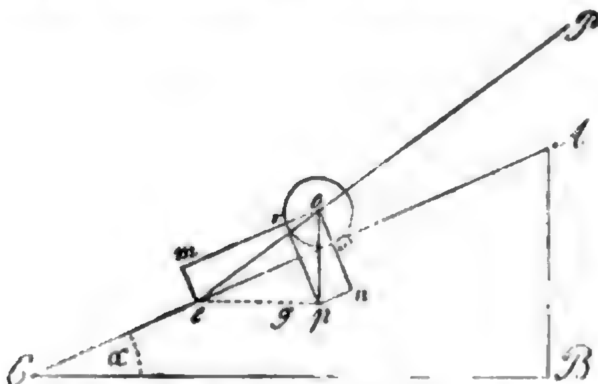
welches mit dem obigen Verhältnisse verglichen

$$P : Q = AB : BC$$

giebt, d. h. es muß sich die Kraft P verhalten zur Last Q, wie sich die Höhe der schiefen Ebene über der Horizontalebene zur Basis derselben verhält.

Aus dieser Proportion folgt $P = Q \cdot \frac{AB}{BC} = Q \cdot \text{tang}\, \alpha$.

Der dritte allgemeine Fall ist der, wo die Richtung der Kraft P mit der schiefen Ebene einen beliebigen Winkel oeA $= \beta$ macht. Die Richtung der Kraft P sei durch die Linie Po bezeichnet, deren Verlängerung die Linie AC in e schneidet. Stellt nun op wieder die Kraft vor, welche Q vermöge seiner Schwere senkrecht auf BC herabtreibt, so läßt sich dieselbe wieder in zwei Seitenkräfte zerlegen, von denen die eine parallel mit AC die Kraft darstellt, womit der Körper auf der schiefen Ebene herabzugleiten strebt, die andere aber den Druck, welchen der Körper senkrecht gegen die schiefe Ebene ausübt. Bezeichnen wir auch jetzt den Neigungswinkel der schiefen Ebene durch α, so ist die erste Kraft $= Q \sin \alpha$, die zweite oder der Druck $= Q \cos \alpha$.



Die Kraft P, welche den Körper auf der schiefen Ebene zurückhalten soll, kann man ebenfalls in zwei Seitenkräfte zerlegen, deren eine mo mit AC parallel, die andere os aber darauf senkrecht ist. Nun ist, wenn oe die Richtung und Größe der Kraft P darstellt, $mo = es = P \cos . oes = P \cos \beta$ und $os = P \sin \beta$. Für den Fall des Gleichgewichtes muß offenbar die Kraft, womit der Körper auf der schiefen Ebene herabzugleiten strebt, also $Q \sin \alpha = P \cos \beta$ sein, mithin $P = \frac{Q \sin \alpha}{\cos \beta}$.

Diese Formel in die Proportion $P : Q = \sin \alpha : \cos \beta$ aufgelöst, führt zu nachstehender Regel.

Die Kraft P verhält sich zur Last Q, wie der Sinus des Neigungswinkels der schiefen Ebene zum Cosinus des Zugwinkels β, welchen die Richtung der Kraft P mit der schiefen Ebene einschließt.

Auch begreift diese Formel die beiden oben betrachteten Fälle in sich. Für $\beta = 0$, d. h. wenn die Richtung der entgegenwirkenden Kraft mit AC parallel ist,

hat man $\cos \beta = 1$, also $P = Q \sin \alpha$, und für $\beta = \alpha$, wo die Richtung der Kraft P mit B C oder der Basis der schiefen Ebene parallel ist, $P = Q \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = Q \cdot \tang \alpha$.

Wäre anstatt des Winkels o e A der Winkel o e g, welchen die Richtung der Kraft P (s. Fig. S. 587) mit der horizontalen B C oder mit der dieser parallelen Linie e g einschließt, gegeben; so wäre der Winkel $A e g = \alpha$, der Winkel $o e s = \delta - \alpha$, wenn man den Winkel $o e g = \delta$ setzt. Die Seitenkraft o m ist dann $= P \cos (\delta - \alpha)$ und $o s = P \sin (\delta - \alpha)$, also für den Fall des Gleichgewichtes die den Körper hinabtreibende Kraft $Q \sin \alpha = P \cos (\delta - \alpha)$ und $P = \frac{Q \sin \alpha}{\cos (\delta - \alpha)}$.

Diese Formel führt übrigens zu denselben Resultaten wie die obige. Denn für $\delta = \alpha$ hat man $P = Q \sin \alpha$ und für $\delta = o$, $P = Q \tang \alpha$, da bekanntlich $\cos - \alpha = \cos \alpha$.

Bei der praktischen Anwendung der aufgestellten Gesetze darf die Reibung, welche in der Wirklichkeit sich überall als Bewegungshinderniß geltend macht, nicht außer Acht gelassen werden. Die Reibung ist nun abhängig von dem Drucke, den die Last auf die schiefe Ebene ausübt, und derselbe ist nach dem Obigen $= Q \cos \alpha$. Dieser Druck wird um die verticale Componente o s der Kraft P vermehrt oder vermindert, je nach der Richtung, in welcher die Kraft P auf den Körper wirkt. Beachtet man blos den Druck der Last Q und bezeichnet man den Reibungscoefficienten, wie gewöhnlich, durch f, so hat man für die Reibung $f\, Q \cos \alpha$. Nun ist es möglich, daß bei einem gewissen Neigungswinkel die Reibung allein im Stande ist, den Körper auf der schiefen Ebene zurückzuhalten. In diesem Falle muß dann die herabtreibende Kraft $Q \sin \alpha = f\, Q \cos \alpha$ sein, eine Gleichung, die dazu dienen kann, den unbekannten Reibungscoefficienten bei gegebenem α zu ermitteln (s. d. Art. Reibung).

Nimmt man zugleich Rücksicht auf die Vermehrung oder Verminderung des Druckes durch den vertikalen Antheil $o s = P \sin (\delta - \alpha)$ der Kraft P, so erscheint als vollständiger Ausdruck für die Reibung $f\, (Q \cos \alpha - P \sin (\delta - \alpha))$. Ohne Rücksicht auf Reibung gilt die obige Gleichung $P \cos (\delta - \alpha = Q \sin \alpha$, wo der Ausdruck auf der linken Seite denjenigen Antheil der Kraft P bezeichnet, welcher der hinabtreibenden Kraft $Q \sin \alpha$ entgegenwirkt. Wenn nun die Kraft P blos das Herabgleiten des Körpers auf der schiefen Ebene zu verhindern hat, so kommt ihr die Reibung zu Statten, und man hat $P \cos (\delta - \alpha) = Q \sin \alpha - [f\, (Q \cos \alpha - P \sin (\delta - \alpha)]$, also $P = \frac{Q\, (\sin \alpha - f \cos \alpha)}{\cos (\delta - \alpha) - f \sin (\delta - \alpha)}$.

Soll aber der Körper durch die Kraft P wirklich aufwärts bewegt werden, so ist auch die Reibung vollständig zu überwinden, und der Ausdruck für die letztere ist dann der zweiten Seite obiger Gleichung durch Addition beizufügen. Man hat hiernach $P = \frac{Q\, (\sin \alpha + f \cos \alpha)}{\cos (\delta - \alpha) + f \sin (\delta - \alpha)}$.

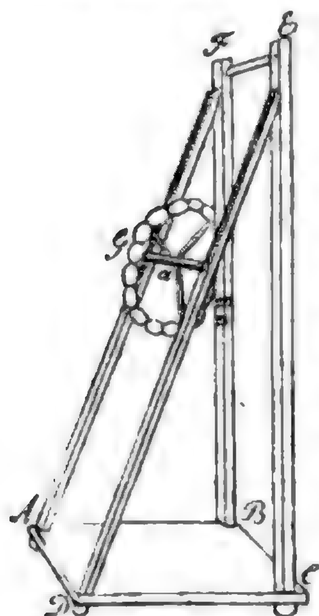
Wird nun die Kraft P im geringsten vermehrt, so entsteht wirklich Bewegung.

Diese Formeln lassen sich leicht den Fällen anpassen, wo die Kraft P mit der schiefen Ebene oder deren Basis parallel wirkt. Im ersten Falle hat man nur $\delta = \alpha$, und im zweiten $\delta = 0$ zu setzen.

Die hier bewiesenen Sätze leiden eine sehr vielfache Anwendung in der Mechanik; sie dienen nämlich zur Berechnung der Kraft, welche angewendet werden muß, um eine Last eine geneigte Ebene hinaufzuschaffen, z. B. einen Berg, eine künstlich angelegte Bahn etwa zu Hinaufschaffung von Baumaterialien in die oberen Stockwerke von Gebäuden ꝛc. Der erste der genannten Fälle kommt namentlich beim Fahren auf Bergen vor, indem hier die Kraft der schiefen Ebene parallel wirkt.

Endlich finden auch noch mit Berücksichtigung der Lehre vom Schwerpunkte einige physikalische Spielereien ihre Erklärung in den Sätzen von der schiefen Ebene. Hierher gehören der berganlaufende Cylinder und der berganlaufende Kegel. Der erstere besteht aus einem hohlen Cylinder von Holz oder Pappe, in den inwendig nach der Seitenwand zu ein schwerer Körper befestigt ist. Wird dieser Cylinder auf eine schiefe Ebene so gelegt, daß der Schwerpunkt desselben, welcher natürlich hier nicht in seine Axe fällt, nach der Erhöhung der schiefen Ebene zu liegen kommt, so rollt er die Ebene aufwärts. Der berganlaufende Kegel ist ein doppelter Kegel von Holz, oder zwei gleiche Kegel, die mit ihren Grundflächen auf einander stehen. Zwei auf der einen Seite verbundene Leisten sind so aufgestellt, daß ihre beiden nicht verbundenen Enden höher als die verbundenen liegen, also jede Leiste eine schiefe Ebene bildet. Die Entfernung der beiden äußersten Enden der Leisten von einander ist gleich der Axe (Entfernung der beiden Spitzen von einander) des Doppelkegels, und der Unterschied der Höhe der beiden äußersten Enden gegen die verbundenen Enden ist kleiner als die Hälfte der größten Dicke des Doppelkegels. Der Kegel wird mit seiner mittlern Kante zwischen die Leisten gelegt und rollt dann an diesen hinauf.

Eine andere Spielerei, die noch hierher gerechnet werden kann, ist die sogenannte Quecksilberuhr. Das Gestell ABCDEF besteht aus vier einzelnen Stäben, von denen BF und CE senkrecht auf der horizontalen Ebene ABCD aufstehen, DE und AF aber gegen dieselbe geneigt und mit einander parallel sind. G ist ein Rad, welches aus einzelnen gläsernen hohlen Kugeln zusammengesetzt ist, die unter einander durch enge Mündungen verbunden sind: etwa zwei dieser Kugeln m und n sind mit Quecksilber gefüllt, welches durch die Mündungen allmälig aus einer Kugel in die andere überläuft, so lange es durch seine Schwere in Bewegung gesetzt wird. Der aus den Kugeln gebildete Kranz ist durch drei leichte Speichen aus Fischbein oder Rohr mit der walzenförmigen Axe a in Verbindung gesetzt und an dieselbe befestigt. Um die Enden der Axe a sind auf beiden Seiten Fäden gewickelt, welche bei E und F befestigt sind. Wäre nun nicht, wie in der Figur, in den beiden Kugeln m und n Quecksilber, so würde der Schwerpunkt des ganzen Rades in die



Mitte der Axe desselben fallen, es würden sich die Fäden abwickeln und das Rad an den geneigten Stäben AF und DE herabrollen. Durch das Quecksilber in

m und n wird aber der innern Seite ein solches Gegengewicht gegen den außenliegenden Theil des Radkranzes gegeben, daß sich die Fäden von der Axe a nicht abwickeln können. Erst wenn das Quecksilber aus m und n allmälig in die tiefer liegenden Kugeln abfließt, wickeln sich entsprechend auch die Fäden von der Axe ab und das Rad sinkt weiter und weiter herab. Dieses Herabsinken geschieht desto langsamer, je enger die Mündungen der Kugeln in einander sind, und mit desto größerer Gleichmäßigkeit der Bewegung, je gleichmäßiger weit diese Mündungen sind, so daß man die ganze Vorrichtung, ähnlich wie die einer Sanduhr, zu Abmessung und Eintheilung der Zeit benutzen kann.

Schon seit längerer Zeit hat man in England eine großartige Anwendung schiefer Ebenen gemacht, ich meine die sogenannte self acting planes, d. h. selbstwirkenden schiefen Ebenen. Sie sind in sehr großer Anzahl vorhanden, und bestehen im Allgemeinen aus Eisenbahnen, welche eine schiefe Ebene herabgehen, und auf denen fortwährend beladene Wagen herabgehen und unbeladene Wagen heraufgehen, indem diese von jenen gezogen werden.

Eine solche ist die bei Leeds in Yorkshire auf der Eisenbahn, die von dem Middleton Kohlenwerke kommt, angelegte selbstwirkende schiefe Ebene. Vier Wagen, von denen ein jeder mit 53 Ctr. Kohlen beladen ist, ziehen beim Herablaufen über die schiefe Ebene 4 andere leere Wagen herauf: zu diesem Behufe hängen dieselben mittelst eines Seiles zusammen, welches um ein auf der Höhe stehendes wagerechtes Rad von 16 Fuß Durchmesser geschlungen ist. Es liegt in der Natur der Sache, daß auf diese Weise nur Lasten herab, keine (außer den leeren Wagen) heraufgeschafft werden können, weil die hinabgehende Last immer schwerer sein muß, als die hinaufkommende. Sollen daher beladene Wagen herauf, und leere hinabgeschafft werden, so ist während das Gewicht der Wagen sich gegenseitig ausgleicht, noch eine Kraft nöthig, die Ladung der Wagen zu ziehen. Man versieht zu diesem Zwecke ähnliche schiefe Ebenen mit Dampfmaschinen, Wasserrädern oder Pferdegöpeln. So findet sich bei Maria Zell in Steiermark ein Holzaufzug, wo durch die Kraft eines mittelschlächtigen Wasserrades mit 5 Fuß Gefälle täglich mit 11 Arbeitsstunden 37 bis 40 Klaftern Holz, die zusammen 8 Ctr. wiegen, über eine schiefe Ebene (Holzbahn), deren senkrechte Höhe 40 N. Oestr. Klaftern beträgt, hinaufgezogen werden. Thompson hat die Methode, herabgehende Wagen zum Aufziehen anderer beladener auf schiefen Ebenen zu verwenden, auf alle Fälle ausgedehnt und 1821 ein Patent auf dieses sein sogenanntes reciprocating system (Wechselwirkungs-System) erhalten. So sehr es übrigens auf den ersten Blick den Anschein hat, als gewähre die Fahrt in angeführter Weise auf selbstwirkenden Ebenen den größten Vortheil, ja als erspare sie wenigstens in dem ersten der angeführten Fälle alle Frachtkosten, so ergiebt doch eine genauere Ansicht der auch hier nöthigen Kosten, daß der Gewinn an Frachtkosten keinesweges so außerordentlich bedeutend sei *).

In Berggegenden werden häufig schiefe Ebenen angelegt, um das auf den Bergen gefällte Holz auf ihnen herabrutschen zu lassen. Eine der großartigsten derartigen Vorrichtungen ist die, welche J. Rupp 1816 anlegte, um das Holz vom Pilatusberge in der Schweiz darauf herabgleiten zu lassen. „Dieselbe lief

*) Weiteres über die selbstwirkenden schiefen Ebenen im Art. Eisenbahn.

bald gerade, bald in Windungen unter einem Winkel von 10° bis 18° stellenweise unter der Erde, sonst aber im Allgemeinen auf Böcken von 10 bis 120 F. Höhe, eine Strecke von drei Stunden herab, war aus geschälten Tannen muldenförmig zusammengesetzt, und hatte eine Breite von 6 Fuß bei einer Tiefe von 3 bis 6 F. Im Ganzen wurde sie durch 2000 Joche getragen, die gegen 10 Fuß von einander abstanden, und deren Befestigung oft mit unglaublichen Schwierigkeiten verbunden war. Es wurden 25000 Stämme Holz dazu verwandt, welche ohne alles Eisen künstlich zusammengesetzt waren, der Bau beschäftigte im Mittel 160 Menschen 1,5 Jahre und kostete über 100000 Gulden. Nachdem das Werk aller unübersteiglich scheinenden Hindernisse ungeachtet endlich vollendet war, glitten die großen, 100 Fuß langen und am dünnsten Ende noch 10 Zoll dicken Tannen mit solcher Schnelligkeit darauf herab, daß sie den Weg von drei Stunden in nicht mehr als dritthalb Minuten zurücklegten, und den unten stehenden Beobachtern nicht länger als einige Fuß zu sein schienen. Der Sicherheit wegen hatte der Mittelbaum in seiner ganzen Länge eine Rinne, in welche durch angebrachte Zubringer von vielen Stellen stets Wasser herablief und das Holz benetzte. Zur Erhaltung der Ordnung waren an der ganzen Strecke Arbeiter angestellt, wovon der unterste rief: Laß laufen, dieser Ruf kam etwa in drei Minuten vermittelst der zwischenstehenden Arbeiter oben an, ein Baum wurde losgelassen mit dem Rufe: Er kommt, und so glitt alle 5 bis 6 Minuten ein Baum herab, wenn nicht etwas an der Leitung verdorben war, was sofort ausgebessert wurde. Um die Kraft des anprallenden Holzes zu zeigen, ließ Rupp einige Bäume seitwärts herausschießen; sie drangen mit ihrem dicken Ende 18 bis 24 Fuß tief in die Erde ein, und als zufällig ein liegender von einem herabgleitenden getroffen wurde, spaltete dieser ihn wie der Blitz von einem Ende zum andern."

Auf den Gesetzen der schiefen Ebene beruhen eine Menge einfacher Instrumente, wie der Keil, das Messer, die Schraube &c.

Echo (v. d. griech. Ἠχώ), Wiederhall ist eine Erscheinung, die wesentlich auf der Reflexion der Schallwellen beruht. Wenn nämlich an einem Orte Schallwellen erregt werden, so können dieselben von entfernten Gegenständen so reflectirt werden, daß die reflectirten Wellen auf unser Gehörorgan denselben Eindruck wie die directen machen.

Eine nothwendige Bedingung für die Entstehung des Echos ist, daß zwischen den Wahrnehmungen des ursprünglichen und reflectirten Schalles eine gewisse Zeit verstreicht, damit beide einzeln vom Ohre aufgenommen werden können. Dies hängt von der Anzahl der Laute ab, welche unser Ohr in einer gegebenen Zeit zu unterscheiden vermag. Nun kann dasselbe in 1 Secunde 8 höchstens 9 Laute deutlich unterscheiden. Soll also ein Laut von einem vorhergehenden hinreichend unterschieden werden, so müssen beide wenigstens um $^1/_9$ Secunde auseinander liegen. Da der Schall in der Luft auf Grund der Erfahrung bei einer Temperatur von 15° C. ungefähr 1050 Paris. Fuß in 1 Secunde, also $\frac{1050}{9}$ in der Neuntelsecunde zurücklegt, so muß ein Schall, der für unser Ohr durch Zurückwerfung von einem Körper wahrnehmbar sein soll, bis hin zu diesem Gegenstande und wieder zurück wenigstens $\frac{1050}{9}$ Fuß durchlaufen. In diesem Falle würde

demnach die Bedingung der Unterscheidbarkeit zwischen dem directen und reflectirten Laute erfüllt sein. Es folgt nun von selbst, daß die reflectirende Fläche, welche den Widerhall giebt, mindestens $\frac{1050}{2.9} = 58,3$ Fuß entfernt sein muß; denn diesen Weg hat der Schall, um das Echo zu erzeugen, zweimal, nämlich hin und zurück, zu durchlaufen. So entsteht ein einsilbiges Echo. Ein zweisilbiges würde entstehen, wenn die Entfernung der reflectirenden Fläche $= 2.58,3$ Fuß wäre u. s. f. Nähert man sich der genannten Fläche, so daß ihre Entfernung weniger als 58,3 F. beträgt, so verschwindet der Wiederhall und man vernimmt statt seiner den Nachhall, welcher durch das Zusammentreffen des directen und reflectirten Schalles entsteht. Der Nachhall ist nicht selten in Kirchen, Hörsälen und in neuen, noch unbewohnten Häusern.

Wenn es mehrere reflectirende Flächen in ungleichen Entfernungen giebt, so entstehen mehrfache Echos, die wieder ein- oder mehrsilbig sein können. Ein mehrfaches Echo kann auch durch zwei einander gegenüberstehende parallele Wände gebildet werden.

Der Ort, von welchem der Schall ausgeht, heißt in der Kunstsprache das phonische Centrum (φωνεῖν, tönen), während man den Ort, wohin die Schallstrahlen zurückgeworfen und wo sie als Echo vernommen werden, phonokamptisches Centrum (κάμπτειν, umbeugen) nennt. Bei den meisten Echos fallen diese Orte zusammen. Wenn nun die Schallwellen rechtwinklig oder doch nahe rechtwinklig auf die reflectirende Fläche treffen, so müssen sie zu ihrem Ausgangspunkte zurückkehren. Das phonokamptische Centrum kann also nur bei solchen Echos vorkommen, wo der Ort, von dem die Schallwellen ausgehen, nicht zusammenfällt mit dem Orte, wohin sie reflectirt werden, und in dem man sich befinden muß, um das Echo wahrzunehmen. Hierbei lassen sich wieder zwei Fälle unterscheiden, je nachdem man nämlich an diesem Orte nur das Echo oder auch noch den ursprünglichen Schall selbst hört.

Reflectirende Flächen können die verschiedenartigsten Körper darbieten, wie Mauern, Wälle, Festungswerke, Häuser, Berge, Felsen, verfallene Thürme, hohle Ufer, Wälder rc. und selbst Wolken. In Bezug auf die letzteren läßt sich z. B. das Rollen des Donners und namentlich der Umstand anführen, daß der Knall einer Kanone bei heiterem Himmel einfach, bei bewölktem aber gewöhnlich wie das Rollen des Donners vernommen wird. Uebrigens muß stets eine Reflexion der Schallwellen stattfinden, wenn diese an die Grenzebene zweier Mittel von verschiedener Dichte gelangen, oder wenn das fortpflanzende Medium sich plötzlich erweitert. Der letztere Fall findet bei Schluchten, Hohlwegen und bei Gallerien, die an einem Ende offen sind, statt und Chladni *) erklärt hieraus deren Wiederhall.

Die oben gegebene Erklärung von der Entstehung des Echos ist zwar ohne Zweifel im Wesentlichen ganz richtig, aber es läßt sich daraus für einen gegebenen Fall, wenn auch die Anzahl der wiederholten Silben bekannt ist, doch nicht die Entfernung der reflectirenden Fläche mit Sicherheit bestimmen, weil hier sowohl

*) Akustik. Leipzig 18 2. 4. §. 212 ff.

die Geläufigkeit, womit die Laute gesprochen werden, als auch die Natur der letzteren, und wohl auch noch manche andere Umstände in Betracht kommen. Zunächst fehlt es also an einem festen Maße der Zeit, welche zum Aussprechen einer bestimmten Menge von Silben erforderlich ist. Man hat daher empfohlen *), nur einen kurzen Laut hervorzubringen und an einer Secunden- oder Tertienuhr die Zeit bis zum ersten Lautwerden des Echos zu bestimmen. Bezeichnet man nun durch z die Zeit in Secunden und durch t die Temperatur der Luft nach **Celsius**, so giebt die Formel $\frac{z\,(1019{,}12 + t.\ 1{,}926)}{2}$ die Entfernung des reflectirenden Gegenstandes in Pariser Fußen an. Das erste Glied des Zählers in dieser Formel ist nämlich die Geschwindigkeit des Schalles bei 0° C., die Zahl 1,926 aber die Zunahme der Schallgeschwindigkeit, wenn die Temperatur der Luft um 1° C. steigt. In Ermangelung einer Secunden- oder Tertienuhr kann man auch eine gute Taschenuhr anwenden, wenn man durch Beobachtung die Anzahl der Schläge, welche auf 1 Minute gehen, und hieraus den Zeitwerth eines Schlages ermittelt hat. Dieser beträgt gewöhnlich 0,25 Secunden.

Von wesentlichem Einflusse auf die Bildung des Echos ist eine regelmäßige und möglichst vollständige Reflexion der Schallwellen, so daß also keine Zerstreuung oder Zerspaltung derselben in viele kleinere Wellen stattfindet. Man weiß, daß die Schallwellen während ihrer Fortpflanzung in der Luft sich allmälig immer weiter ausbreiten und hierdurch eine Schwächung erleiden. Dadurch wird natürlich auch das Echo, namentlich bei größerer Entfernung der zurückwerfenden Fläche, geschwächt werden müssen. Befinden sich nun an den Seiten Bäume oder sonstige feste Gegenstände, welche der seitlichen Ausbreitung des Schalles hinderlich sind, so wird der Schwächung der Schallwellen entgegengewirkt. Von Bedeutung ist ferner die Gestalt der reflectirenden Fläche. Ist dieselbe gekrümmt, so werden die Schallwellen in der Höhlung zusammengehalten und concentrirt, und können in sofern ein stärkeres Echo erzeugen. Der Einfluß der Krümmung zeigt sich auch beim Nachhall in Kuppeln und Gewölben. Dann kann aber auch durch eine von der Oertlichkeit herbeigeführte Durchkreuzung der Schallwellen in der Luft eine für die Bildung des Echos günstige Resonanz eintreten. (S. **Resonanz**). Endlich kommt noch in Betracht, daß durch das Anschlagen der Schallwellen die Theilchen der reflectirenden Körper selbst in eine Erzitterung gerathen können. Es kann hierdurch, je nach den Umständen, entweder eine Verstärkung oder eine Schwächung der reflectirten Schallwellen, also auch des Echos und wohl auch noch manche andere Eigenthümlichkeit desselben bewirkt werden. So ist es bekannt, daß einige Echos hell und selbst glockenartig, andere dumpf auftreten und daß manche gewisse Töne leichter als andere geben. Diese Unterschiede mögen ihren Grund, zum Theil wenigstens, in den Schwingungen haben, in welche die Theilchen der reflectirenden Körper durch die directen Schallwellen versetzt werden.

Als besonders merkwürdige Echos werden gewöhnlich folgende angeführt, von denen aber einige nicht mehr existiren. Zu den vielfachen Echos gehören ein zwölffaches bei Verdun, das durch zwei Thürme gebildet wird, ein funfzehnfaches bei Brüssel und ein siebzehnfaches zwischen Coblenz und Bingen an den Ufern der Naha,

*) **Gehler**, N. A. Bd. III. S. 89.

das die ursprünglichen Töne wenig oder gar nicht, sondern nur die reflectirten oder sich selbst hören läßt. Als das vielfachste unter den bekannten betrachtet man das beim Schlosse Simonetta in der Nähe von Mailand, welches durch die beiden vorspringenden Flügel des Schlosses gebildet wird. Dasselbe wiederholt einen Pistolenschuß 56mal und nach Bernoulli sogar 60mal. Ein mehrsilbiges Echo zu Woodstock bei Oxford wiederholt nach Plot bei Tage 17 und bei Nacht 20 Silben. Bekannt ist auch die Erzählung Gassendi's *) von dem Grabmale der Metalla, Gemahlin des Crassus, daß es den ersten Vers der Aeneide 8mal wiederholt habe. Ein Echo in den Adersbacher Felsen im böhmischen Riesengebirge giebt 7 Silben 3mal mit größter Deutlichkeit zurück. Das zuerst von Quesnet **) beschriebene Echo zu Genetay, welches von Gebäuden gebildet wird, ist nur an bestimmten Stellen bald stärker, bald schwächer hörbar, während die Person, welche dasselbe durch ihre Stimme erzeugt, außer dem ursprünglichen Schalle nichts vernimmt.

Edelsteine nennt man solche Mineralien, welche sich durch Glanz (Farbenspiel), Härte, Farbe (Zeichnung), Durchsichtigkeit, oder auch durch einige dieser Eigenschaften auszeichnen. Man unterscheidet gewöhnlich eigentliche Edelsteine und Halbedelsteine, eine Eintheilung, die sich theils auf die größere oder geringere Seltenheit des natürlichen Vorkommens, theils auf den Grad der Vollkommenheit der genannten Eigenschaften gründet; namentlich fehlt den letzteren meist die vollkommene Durchsichtigkeit. Es ist aber unmöglich, eine scharfe Grenzlinie zwischen beiden Classen zu ziehen. Die wichtigsten Edelsteine, die auch zu Schmucksachen verwendet werden, sind: Diamant, Smaragd und Beryll (Aquamarin), Türkis, die Varietäten des Korunds: Saphir und Rubin, die Varietäten des Quarzes: Chalcedon, — dessen Unter-Varietäten: Onyx, Carneol, Sardonyx, Heliotrop, Chrysopras und Mockastein, — Amethyst, Jaspis, Bergkrystall (Citrin, Rauchtopas, Morion), Achat, der Topas, Hyacinth und Zirkon, Granat, Opal.

Die meisten Edelsteine werden künstlich nachgeahmt und die Darstellung solcher künstlicher Edelsteine bildet einen nicht unerheblichen Industriezweig. Man erhält sie durch Zusammenschmelzen eines wasserhellen, leichtflüssigen, feingepulverten Glases (Straß) mit einer geringen Menge pulverförmigen Metalloxydes als des färbenden Stoffes. Zu dem Glasflusse nimmt man Kieselsäure von Bergkrystall, die (zur Entfernung metallischer Theile) mit Salzsäure ausgekocht wird, Mennige oder Bleiweiß, reines, schwefelsäurefreies, kohlensaures Kali oder Salpeter (auch Aetz-Kali), Borax oder Borarsäure, arsenige Säure. Die färbenden Metalloxyde sind für Topas, röthlich gelben: Antimonoxyd und Goldpurpur; gelben: Eisenoxyd; für Rubin: Goldpurpur oder Manganoxyd; Smaragd: Kupferoxyd und Chromoxyd; Saphir: Kobaltoxyd; Granat: Antimonoxyd, Goldpurpur und Kobaltoxyd; Amethyst: Manganoxyd, Kobaltoxyd und Goldpurpur; Beryll: Antimonoxyd und Kobaltoxyd; Türkis: Kupferoxyd, Zaffer und Braunstein; der hierzu angewendete Glasfluß wird durch Zinnoxyd undurch-

*) Anmerk. zu Diog. Laertes Lib. X.
**) Mém. de l'Acad. T. II. p. 87. T. X. p. 127.

fichtig gemacht *). — Die Schmelzung wird in möglichst reinen Tiegeln bei allmälig gesteigerter Temperatur vorgenommen, und dann die Masse im Ofen selbst einer langsamen Erkaltung überlassen. Härte und specifisches Gewicht der Edelsteine können meist nicht nachgeahmt werden, — in den meisten übrigen Eigenschaften jedoch kommen die künstlichen Edelsteine den natürlichen häufig sehr nahe.

Efferveseenz nennt man das Aufbrausen, das bei rascher Zersetzung vieler Körper entsteht und durch die Entwickelung eines gasförmigen Körpers hervorgerufen wird, z. B. durch Kohlensäure bei der Zersetzung eines ihrer Salze durch andere Säuren, durch Wasserstoff bei Behandlung von Zink mit verdünnter Schwefelsäure ꝛc.

Effloresciren, s. Auswittern.

Eigenschaft eines Körpers ist dasjenige, was durch eine Wechselwirkung desselben mit den Sinnen des Menschen zum Bewußtsein des letzteren gelangt. Die Eigenschaften der Körper unterscheiden dieselben sowohl unter einander, als auch von dem, was nicht körperlich ist. Solche Eigenschaften nun, welche allen Körpern gemeinsam und als wesentliche Merkmale der Körperlichkeit oder Materialität der Dinge zu betrachten sind, heißen wesentliche allgemeine Eigenschaften. So Ausdehnung, Figurabilität und Undurchdringlichkeit (s. diese Art. und den Art. Materie). Diejenigen Eigenschaften, welche zwar an allen bekannten Körpern vorkommen, aber nicht so eng mit dem Begriff Körper zusammenhängen, daß ohne sie überhaupt keine Wahrnehmung der Materie durch die Sinne gedacht werden könnte, heißen zufällige allgemeine Eigenschaften, obschon dieselben ohne Zweifel mit der wirklichen Natur der Körper im wesentlichsten Zusammenhange stehen. Hierher rechnet man: Trägheit und Beweglichkeit, Ausdehnbarkeit (s. d. Art. Ausdehnung und Dehnbarkeit), Zusammendrückbarkeit und Theilbarkeit (s. diese Artikel). Ueberdies kommt allen erfahrungsmäßig gegebenen Körpern das Merkmal der Schwere zu. Dieselbe scheint im eigentlichen Sinne eine zufällige Eigenschaft der Materie zu sein. Die Schwere eines Körpers verändert sich mit dem Orte, den derselbe auf der Oberfläche der Erde einnimmt; sie würde auf dem Monde, dessen Masse geringer als die der Erde, kleiner, auf der Sonne aber bei weitem größer als auf der Erdoberfläche sein, und im unendlich leeren Raume würde der Körper das Merkmal der Schwere ganz verlieren, ohne doch das Geringste von dem einzubüßen, was ihm seine Körperlichkeit verleiht. (S. d. Art. Materie und Schwere). Den allgemeinen Eigenschaften stehen gegenüber die besonderen Eigenschaften, durch welche sich die Körper von einander unterscheiden. Sie haben indessen alle einen gewissen Grad von Allgemeinheit, in sofern jede derselben einer Reihe von Körpern zukommt. Die einzelnen Körper unterscheiden sich näher durch die mannigfache Verknüpfung der besonderen Eigenschaften in ihnen. Hierher gehören die mannigfaltigen Farben, das Leuchten einiger Körper, die Sprödigkeit, Biegsamkeit ꝛc. Man spricht außerdem auch noch von rela-

*) Ueber einige Erscheinungen bei der Färbung des Glases durch Metalloxyde von G. Bontemps, s. Philosophic. Magazin. Decb. 1849. S. 439; Dingl. polytechn. Journ. Bd. CXV. S. 431; Polytechn. Centralblatt 1850. S. 606. Siehe auch d. Art. Mineral.

tiven Eigenschaften der Körper, worunter man solche versteht, die für jeden bestimmten Körper nur im Vergleich mit andern Körpern erkannt werden können; so z. B. Dichte, Festigkeit x.

Zu unterscheiden von der Eigenschaft oder Qualität in der gewöhnlichen Bedeutung des Wortes ist diejenige Qualität, die auf die reale Grundlage der Materie oder auf das eigenthümliche Wesen der Körper hinweist, durch welches sowohl die wesentlichen als zufälligen Eigenschaften der Körper bedingt sind, und wodurch die letzteren die Sinne des Menschen unmittelbar oder mittelbar eigentlich erregen. Man s. hierüber den Art. Materie.

Einfache Körper oder Stoffe, chemische Elemente, Grundstoffe heißen in der Chemie diejenigen Stoffe oder Körper, welche bis jetzt noch nicht als Verbindungen aus anderen Stoffen haben nachgewiesen, noch nicht weiter haben zerlegt werden können. Man bezeichnet diese Körper daher auch mit dem Namen der unzerlegbaren Stoffe; mehrere, welche früher für einfach gehalten wurden, hat man später bei größerer Vervollkommnung der analytischen Methoden als Verbindungen zweier oder mehrerer vorher unbekannter Körper erkannt, und es ist nicht unmöglich, daß in einer zukünftigen Zeit viele der noch gegenwärtig für einfach gehaltenen sogenannten Grundstoffe wiederum als Verbindungen schon bekannter oder neuer Körper sich herausstellen werden, wodurch die Anzahl der Elemente entweder, wie es gegenwärtig fast jährlich geschieht, sich stets vergrößern, oder auch auf eine geringere sich reduciren wird. Die ganze Mannichfaltigkeit der körperlichen Schöpfung ist entstanden durch Vereinigung dieser Grundstoffe unter sich nach einem ganz bestimmten Maaß und Gewicht (s. d. Art. Verbindungen, chemische); alle wägbaren Gegenstände, welche in der Natur dem Auge entgegentreten, lassen sich auflösen und zerlegen in ihre einfacheren Bestandtheile. In früheren Zeiten bezeichnete man Feuer, Luft, Wasser und Erde als die Elemente, aus welchen alles Bestehende gebildet worden sei, welche gegenwärtig keineswegs mehr zu den Grundstoffen gerechnet werden können, da sie entweder als Verbindungen mehrerer einfacher Körper erkannt worden sind oder, wie das Feuer, nicht mehr als ein wägbarer Bestandtheil eines Körpers angesehen, sondern nur als Erscheinung betrachtet werden, welche in Begleitung gewisser chemischer Prozesse auftreten. Dennoch haben jene 4 Elemente auch noch gegenwärtig einen Sinn, in sofern man alles, was fest in der Natur ist, Erde, alles, was tropfbar-flüssig ist, Wasser, alles was expansibel-flüssig oder gasförmig ist, Luft, und endlich die sogenannten unwägbaren Stoffe Feuer nennt; dann nämlich drücken sie (wenigstens die drei ersten) die verschiedenen Aggregatzustände (s. diesen Art.) aus, in welchen die Körper überhaupt auftreten können. — Die einfachen Stoffe werden zuweilen zunächst in zwei Abtheilungen gebracht und als unwägbare und wägbare Stoffe bezeichnet; die ersteren sind, wie der Name sagt, solche, welche mittelst der bisher uns zu Gebote stehenden Instrumente sich nicht wägen lassen, d. h. ohne Schwere (lat. imponderabel) sind, und für sich selbst (nicht in Verbindung mit anderen wägbaren Stoffen) keinen wahrnehmbaren Raum einnehmen. Andere Naturforscher nennen dagegen diese hier als einfache Stoffe aufgeführten: Licht, Wärme, Elektricität und Magnetismus, Eigenschaften derjenigen Körper, in Verbindung mit welchen sie vorkommen. Unter einander zeigen diese unwägbaren Stoffe eine gewisse Verwandtschaft, so daß man vermuthen kann, daß ihnen allen

etwas gemeinsames zu Grunde liegt *). Bei weitem größer ist die Zahl der wägbaren einfachen Körper, deren bisher 62 entdeckt und näher untersucht worden sind, und welche man nach ihren verschiedenen chemischen und physikalischen Eigenschaften wiederum in mehrere Abtheilungen und Unterabtheilungen gebracht hat. Die beiden Hauptclassen dieser Körper sind die Nichtmetalle und die Metalle (s. diese Artikel); die ersteren kann man in 4 Gruppen als Organogene, Halogene (Salzbilder), Pyrogene (Feuererzeuger) und Hyalogene (Glasbilder) zusammenstellen, die letzteren je nach ihrem Verhalten zum Wasser bei gewöhnlicher oder höherer Temperatur, bei der Abwesenheit oder Gegenwart von Säuren einander neben- oder unterordnen; oder auch nach anderen Gesetzen, namentlich ihren gegenseitigen Verwandtschaftsverhältnissen in Unterabtheilungen bringen, hinsichtlich deren näheren Charakteristik wir ebenfalls auf die Artikel Nichtmetalle und Metalle verweisen. Hier theilen wir nur noch eine Tabelle mit, in welcher man diese verschiedenen Gruppen übersichtlich zusammengestellt findet, nebst den chemischen Zeichen oder Symbolen der einzelnen Elemente, so wie auch deren Atomgewichte oder vielmehr Aequivalente oder stöchiometrische Zahlen; die Bedeutung und Bestimmung der letzteren wird in dem Art. Verbindungen, chemische, erörtert werden. Die Aequivalentzahlen sind hier hier sowohl nach der Annahme von Sauerstoff = 100, als auch nach dem Wasserstoff = 1 gesetzt berechnet werden; die Zahlen der einen oder anderen Reihe findet man in den chemischen Lehrbüchern der neueren Zeit angeführt. Die Ansicht, daß die Aequivalente der einfachen Körper sämmtlich einfache Multipla des Wasserstoff-Aequivalentes seien, oder daß alle übrigen Aequivalentzahlen, die des Wasserstoffes = 1 gesetzt, auch durch ganze Zahlen ausgedrückt werden könnten, wurde zuerst von Proust, einem englischen Chemiker aufgestellt. Dieselbe fand sich zwar durch die ausführlichen von Berzelius angestellten Untersuchungen nicht bestätigt, hat aber in neuerer Zeit durch die von Dumas und ganz besonders von Erdmann und Marchand nach einem weit größeren Maßstabe vorgenommenen genauen Analysen wiederum einige Wahrscheinlichkeit für sich gewonnen, wenn auch bis jetzt noch bei weitem nicht alle Aequivalente der einfachen Körper auf solche ganze Zahlen haben zurückgeführt werden können. In der folgenden Tabelle sind die Grundstoffe, deren Aquivalentzahlen einfache Multipla derjenigen des Wasserstoffes sind und welche in neuester Zeit in dieser Hinsicht einer sorgfältigen Revision unterworfen wurden, durch gesperrte Schrift ausgezeichnet, und außerdem diejenigen Elemente, welche zu Doppelatomen in die Verbindungen eingehen, deren Aequivalentzahl also der doppelten Atomgewichtszahl gleich gesetzt werden muß, mit einem *) versehen worden.

Die einfachen Stoffe	Symbol	Stöchiometrische Zahlen	
		Sauerst. = 100	Wasserstoff = 1
Wasserstoff (Hydrogenium)* . . .	H.	12,5	1,00
Sauerstoff (Oxygenium)	O.	100,0	8,00
Kohlenstoff (Carboneum) . . .	C.	75,0	6,00
Stickstoff (Nitrogenium)*	N.	175,0	14,00

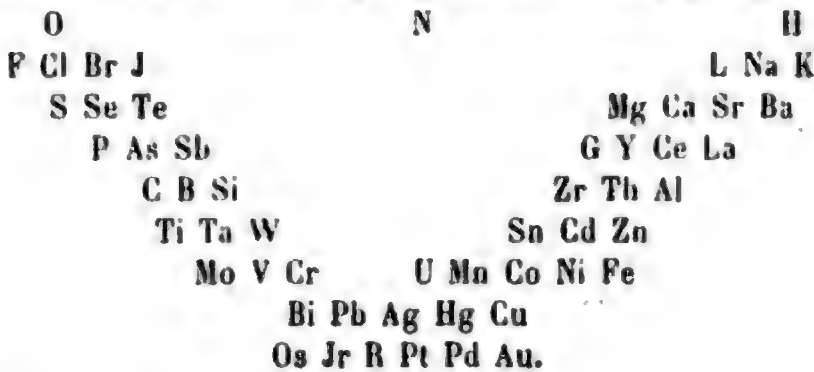
*) Siehe d. Art. Materie.

Die einfachen Stoffe	Symbol	Stöchiometrische Zahlen	
		Sauerst. = 100	Wasserst. = 1
Chlor *	Cl.	443,3	35,46
Brom *	Br.	1000,0	80,00
Jod *	J.	1586,0	126,88
Fluor *	F.	235,4	18,83
Schwefel (Sulphur)	S.	200,0	16,00
Phosphor *	P.	400,0	32,00
Selen	Se.	495,3	39,60
Tellur	Te.	801,8	64,14
Kiesel (Silicium)	Si.	177,9	14,23
Boron	Bo.	136,2	10,89
Kalium	K.	488,9	39,11
Natrium	Na.	287,2	22,97
Lithium	Li.	81,7	6,53
Baryum	Ba.	858,0	68,64
Strontium	Sr.	549,0	43,92
Calcium	Ca.	250,0	20,00
Magnium	Mg.	150,9	12,70
Glycium	Gl.	87,1	6,96
Aluminium	Al.	170,9	13,67
Zirkonium	Zr.	831,0	66,48
Thorium †)	Th.	743,9	59,51
Yttrium	Y.		
Cerium	Ce.		
Lanthan	La.		
Didym	Di.		
Terbium	Tr.		
Erbium	Er.		
Mangan	Mn.	344,7	27,57
Eisen (Ferrum)	Fe.	350,0	28,00
Zink	Zn.	406,6	32,52
Nickel	Ni.	369,3	29,54
Kobalt	Co.	368,6	29,48
Chrom	Cr.	328,9	26,31
Vanadium	Va.	856,9	68,55
Cadmium	Cd.	696,7	55,73

†) Das von Bergmann aufgestellte Donarium hat sich, neueren Untersuchungen zufolge, als identisch mit Thorium erwiesen.

Die einfachen Stoffe	Symbol	Stöchiometrische Zahlen	
		Sauerst. = 100	Wasserst. = 1
Zinn (Stannum)	Sn.	735,3	58,82
Antimon (Stibium)*	Sb.	1612,8	129,03
Arsenik*	As.	937,5	75,00
Uran.	U.	750,0	60,00
Titan	Ti.	301,6	24,12
Molybdän	Mo.	596,1	47,68
Wolfram	Wo.	1188,4	95,07
Niobium	Nb.		
Norium	No.		
Pelopium	Pl.		
Tantal.	Ta.	1148,4	91,87
Osmium	Os.	1242,6	99,40
Kupfer (Cuprum)	Cu.	396,6	31,72
Blei (Plumbum)	Pb.	1294,6	103,56
Wismuth (Bismuthum)*	Bi.	2660,8	202,86
Quecksilber (Hydrargyrum)	Hg.	1250,0	100,00
Rhodium	Rh.	652,0	52,16
Silber (Argentum)	Ag.	1350,0	108,00
Gold (Aurum)*	Au.	2458,4	196,66
Platin.	Pt.	1232,0	98,56
Palladium	Pd.	665,4	53,23
Iridium	Jr.	1232,0	98,56
Ruthenium	Ru.		

Gmelin*) giebt die folgende Zusammenstellung der einfachen Körper in Gruppen, bemerkt jedoch zugleich, daß dergleichen Versuche immer unvollkommen sein müßten; nur wenn man die Elemente nicht auf einer Fläche, sondern in einem Körpernetz zusammenstellt, wird eine genügende Anordnung gelingen:



*) Handbuch der Chemie. 4. Aufl. Bd. 1. S. 457.

Die in einer Reihe neben einander stehenden Elemente haben gewisse Aehnlichkeiten. Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff stehen einzeln; ihnen analoge Elemente sind nicht bekannt. Links stehen die Gruppen der mehr elektronegativen, rechts die der mehr elektropositiven Elemente. E. W.

Einfallsloth, s. Brechung.

Einfallswinkel, **Einfallsebene**, s. Brechung.

Eis (lat. glacies, franz. glace, engl. ice) ist gefrornes oder erstarrtes Wasser, ein fester, farbloser, in der Regel ganz durchsichtiger Körper von sehr glatter Oberfläche. Es bildet sich gewöhnlich, wenn die Temperatur des Wassers bis zum Nullpunkt des Thermometers gefallen ist, und diesen Punkt nennt man auch den Thau- oder Gefrierpunkt. Die Ausdrücke thauen und gefrieren bezeichnen nun beim Wasser im Wesentlichen dieselben Erscheinungen, welche bei anderen Körpern, z. B. Metallen, schmelzen und erstarren genannt werden.

Wenn Wasser erkaltet, so zieht es sich zwar, wie die meisten anderen Körper, zusammen, ist aber seine Temperatur bis zu ungefähr 4° C. herabgekommen, so dehnt es sich bei fortgesetzter Erkaltung wieder aus, so daß es bei 0° C. etwa dieselbe Dichte wie bei 8° C. hat. Es ist hierüber schon im Artikel Ausdehnung Bd. I. S. 589 ff. ausführlicher die Rede gewesen. Im Moment des Gefrierens dehnt sich das Wasser abermals, zwar wenig, aber mit einer so außerordentlichen Gewalt aus, daß dadurch die stärksten Gefäße gesprengt werden können. Auch hierüber sind an der eben citirten Stelle einige interessante Beispiele angeführt worden. Die Wirkung dieser Ausdehnung läßt sich indessen schon aus sehr vielen und gewöhnlichen Erscheinungen entnehmen, da es nicht selten vorkommt, daß Bäume, Steine, Mauern, Wasserleitungen und dergleichen durch den Frost zersprengt werden. Was die Ursache dieser Ausdehnung des gefrierenden Wassers betrifft, so liegt sie vielleicht in einer Veränderung der Lage oder Gruppirung der Wassermolecüle im Acte der Krystallbildung, welche mit einer Raumvergrößerung verbunden ist, indem nämlich die kleinsten Bestandtheile oder Atome der Molecüle durch ihren Verlust an Wärme sich so gruppiren, daß sie polyedrische Massentheilchen bilden. Dagegen mögen dieselben im tropfbar-flüssigen Zustande, vermöge der Einwirkung der Wärme, eine mehr sphärenartige Anordnung besitzen. Hiernach läßt sich wohl annehmen, daß Wasser, mag es auch noch so sehr erkaltet werden, nicht gefrieren kann, so lange seine kleinsten Theilchen verhindert sind, diejenige gegenseitige Stellung anzunehmen, welche die krystallinische Beschaffenheit des Eises bedingt. Dies würde z. B. stattfinden, wenn Wasser in einem Gefäße eingeschlossen wäre, dessen Cohäsion der ausdehnenden Gewalt des erstarrenden Wassers das Gleichgewicht zu halten vermöchte *).

Bei völliger Ruhe kann das Wasser bedeutend unter den Nullpunkt erkalten, ohne zu erstarren. Diese Erscheinung wurde zuerst von Fahrenheit **) beobachtet. Derselbe ließ Regenwasser in einer Glaskugel von 1 Zoll Durchmesser kochen und schmolz dann die Oeffnung derselben zu. Das Wasser blieb bei einer Kälte von — 7°,5 R. noch völlig flüssig. Als aber die Spitze abgebrochen und

*) Dalton: chemical philosophy. T. I. p. 155; Winkler: de causa frigoris et glaciei 1737. 4.

**) Phil. Transact. 1724. N. 382. Vol. XXXVIII. p. 78.

hierdurch eine Erschütterung der flüssigen Masse bewirkt wurde, füllte sich die Kugel augenblicklich mit kleinen Eissplittern. Zugleich bemerkte Fahrenheit, daß ein Thermometer, in die erstarrende Masse getaucht, auf 0° sich erhob. Gay-Lussac, welcher das Wasser mit einer Oelschicht bedeckte, fand es bei — 9°,6 R. noch flüssig, und Dalton *) beobachtete, daß reines und von Luft befreites Wasser sogar bei — 11°,4 R. ungefroren blieb. Doch reicht in allen diesen Fällen die geringste Erschütterung hin, um das Erstarren zu bewirken; nur müssen hierbei die inneren Theilchen ungleich ergriffen werden, eine Bewegung, welche alle Theilchen gleichmäßig ergreift, wie vollständiges Umrühren, Rütteln des Gefäßes, Anblasen der Oberfläche und dergleichen, bleibt unwirksam. Eine rasche Eisbildung wird veranlaßt durch hineingebrachte Theilchen fester Körper, z. B. durch Staubtheilchen, vorzugsweise aber, wenn man das erkaltete Wasser mit einem Stückchen Eis berührt. Aus dem Vorstehenden erhellt, daß trübes Wasser unter sonst gleichen Umständen leichter gefriert, als reines. Jenes kann nicht weit unter den Nullpunkt der Thermometerscale erkaltet werden, ohne zu gefrieren.

Der tropfbar-flüssige Aggregatzustand hängt wesentlich ab von einer gewissen Quantität latenter oder gebundener Wärme (s. Wärme), und diese muß erst frei werden, wenn das Flüssige die Form des Starren annehmen soll. In dem Moment, wo diese Wärmemenge frei wird, steigt die Temperatur des erstarrenden Wassers auf 0°. Die latente Wärme, welche das Wasser, als solches, zu seinem Bestande nöthig hat, läßt sich nach Untersuchungen von Prevostaye, Desaines und Regnault zu 79°,08 C. annehmen. Wenn man 1 Pfund Schnee von 0° mit 1 Pfund Wasser von 79° rasch vermischt, so schmilzt der Schnee und man erhält 2 Pfund Wasser von 0°. Daraus folgt, daß eine Schneemasse von 0° beim Schmelzen so viel Wärme bindet, als eine gleiche Wassermasse nöthig hat, um von 0° bis 79° erwärmt zu werden.

Das Eis, einmal gebildet, verhält sich in Beziehung auf Erwärmung und Erkaltung wie die anderen Körper; es dehnt sich aus und zieht sich zusammen. Doch gilt das freilich nur für Temperaturen unter Null. Heinrich **) giebt die Verkürzung eines Eiscylinders für eine Temperaturverminderung von 10° R. zu 0,0003064 seiner anfänglichen Länge an. Genauere Untersuchungen haben hierüber in neuerer Zeit Brunner ***) und Marchand ****) angestellt, von denen der erste die lineare Zusammenziehung des Eises für 1° C. im Mittel gleich 0,0000375, der andere gleich 0,000035 fand.

Das Eis besitzt eine bedeutende Festigkeit, und ist überdies elastisch und biegsam. Moivre *****) verschaffte sich einen Eiscylinder dadurch, daß er Wasser in einer 4 Linien weiten Röhre gefrieren ließ. Diesen Cylinder legte er auf zwei Unterlagen, die 6 Zoll weit von einander abstanden. Derselbe trug kurz vor dem Zerbrechen 1 Pfund, 1 Unze und 2 Quentchen. Ein Cylinder von 1 Zoll Durchmesser, der 24 Stunden einer Kälte von — 9° R. ausgesetzt gewesen war, trug unter sonst gleichen Umständen $10^1/_2$ Pfund und zerbrach bei 11 Pfund.

*) Gilb. Ann. Bd. XIV. S. 295.
**) Gilb. Ann. Bd. XXVI. S. 228.
***) Poggend. Ann. Bd. LXIV. S. 124.
****) Erdmann und Marchand Journ. Bd. XXXV. S. 254, 315, 509.
*****) Vom Eise S. 215.

Die Resultate waren verschieden, je nach der Porosität des Eises und der Zeit, welche es an der Luft gelegen hatte. Als merkwürdigen Beweis von der Festigkeit des Eises führt man gewöhnlich den unter der Regierung der Kaiserin Anna im Jahr 1740 zu Petersburg aus dem Eise der Newa erbauten Eispalast an. Derselbe war aus behauenen Eisblöcken zusammengesetzt. Vor dem Palaste standen 6 Kanonen und 2 Mörser, die sammt ihren Lafetten und Rädern gleichfalls aus Eis bestanden. Die Geschütze waren auf der Drehbank gebohrt worden, und man feuerte aus ihnen Kugeln von Werg und von Eisen mit einer Ladung von $^1/_4$ Pfund Pulver ab, ohne daß sie durch die Erschütterung zerstört wurden.

Bevan *) verfertigte aus einer Eismasse ein Parallelepiped, das 100 Zoll lang, 10 Zoll breit und 3,97 Zoll dick war, und mit einem Ende noch mit jener Masse verbunden blieb. Durch ein Gewicht von 25 Pfund, das nahe am anderen Ende wirkte, entstand eine Biegung von 0,206 Zoll. Der Elasticitätsmodulus (s. Elasticität) wurde hieraus zu 2100000 berechnet. Eis, das sich auf klarem Wasser schnell gebildet, besitzt eine sehr merkliche Elasticität und Biegsamkeit. Hier kommt jedoch bezüglich seiner Tragfähigkeit noch der Widerstand des darunter befindlichen Wassers und der günstige Umstand hinzu, daß der Druck sich auf eine größere Fläche vertheilt.

Das Eis hat eine bestimmte Krystallgestalt, die sich nach Beobachtungen von Horicart de Thury **), Clarke, Smithson ***) und Brewster als ein Rhomboëder oder als eine doppelt sechsseitige Pyramide betrachten läßt. Clarke ****) entdeckte unter einer Brücke in Cambridge bei einer Kälte von — $^1/_2{}^0$ Eiszapfen, an denen sich vollständige rhomboidische Krystalle mit Winkeln von 60° und 120° vorfanden. Brewster *****) erhielt aus einem runden Wasserbassin, das durch eine steinerne Brustwehr gegen jede Luftbewegung geschützt war, nach einer kalten Nacht eine dünne, vollkommen durchsichtige Eisplatte, auf der er zwei sehr stumpfe Rhomboëder mit dreiseitigen Spitzen bemerkte. Auf diese Krystallform des Eises weisen auch seine optischen Eigenschaften hin, was Brewster zuerst ermittelt hat. Wenn man nämlich aus einer dünnen Eisdecke, die sich auf ruhigem Wasser bei mäßigem Frost gebildet hat, eine Platte herausnimmt, so zeigt diese im polarisirten Lichte dieselben Erscheinungen, wie ein einariger Krystall. Die optische Axe des Eises steht hiernach senkrecht auf der gewöhnlichen Oberfläche der Eisdecke, und aus seinem Verhalten im polarisirten Lichte folgt also auch, daß es der doppelten Strahlenbrechung (s. Brechung, doppelte) fähig ist. Der mittlere Brechungscoefficient des gemeinen klaren Eises ist für die violetten Strahlen nach Brewster 1,307 und nach Wollaston gleich 1,310. Bravais †) erhielt durch Versuche mit einem Eisprisma folgende Refractionsindices für die verschiedenen Farben des Sonnenspectrums, die nach seiner Schätzung bis auf 0,001 genau sind:

---

*) Phil. Transact. 1827. p. 306.
**) Ann. de Chim. T. XXI. p. 156.
***) Berzelius Jahresbericht 1825. S. 75.
****) Ann. de Chim. T. XXI. p. 156; Edinb. phil. Journ. N. IX. p. 213.
*****) Lond. and Edinb. phil. Mag. N. XXII. p. 245. Pogg. Ann. Bd. XXXII. S. 399.
†) Ann. de Chim et de Phys. Sér. III. T. XXI. p. 361. Poggend. Ann. Ergänz.-Bd. II. S. 576.

Mitte der rothen Strahlen	=	1,3070
" " orange "	=	1,3085
" " gelben "	=	1,3095
" " grünen "	=	1,3115
" " blauen "	=	1,3150
" " violetten "	=	1,3170

Durch das Zusammenwachsen der Eiskrystalle entstehen jene mannichfachen und malerischen Formen, die wir an den Blumen gefrorner Fensterscheiben bewundern. Das Gefrieren der letztern oder vielmehr des auf ihnen niedergeschlagenen Wasserdampfes geschieht gewöhnlich, wenn die Temperatur der äußeren Luft mehrere Grade unter dem Nullpunkt ist. Die Art und Weise, wie die Eisblumen sich bilden, ist von Horner*), Schumacher**) und anderen genauer beobachtet worden. Zunächst bedeckt sich die Scheibe mit einem dünnen, undurchsichtigen, mattglänzenden Ueberzuge, der aus sehr kleinen, gedrängt zusammenstehenden Sternfiguren zu bestehen scheint, und ein nebelartiges Gewebe darstellt, dessen Ränder unregelmäßig und fein ausgezackt sind; dauert die Kälte fort, so entsteht durch neu auffrierende Dünste eine gleichförmige, undurchsichtige und poröse Haut. Wenn diese nun durch die Sonnenwärme oder auch durch die Wärme des Zimmers eine kleine, unvollkommene Anschmelzung erleidet, so entwickeln sich beim schnellen Eintreten des Nachtfrostes jene bewundernswerthen Blumengebilde.

Im Zustande größter Reinheit ist das Eis fast ebenso durchsichtig als Wasser, und zeigt eine bläulichte Farbe, ähnlich wie eine dicke Wasserschicht. Wenn es aber viele Blasen enthält, so ist seine Farbe mehr graulich weiß, und solche Blasen entstehen besonders dann, wenn das Wasser mit Unreinigkeiten oder mit ungeschmolzenem Schnee vermischt ist. Dieselben rühren großentheils von der im Wasser enthaltenen Luft her, welche durch die beim Erstarren des ersteren frei werdende Wärme ausgedehnt wird und zu entweichen sucht. Das Eis wird meist beim schnellen Gefrieren der Gewässer sehr blasig, weil sich dann auf der Oberfläche sehr bald eine feste Eiskruste bildet, welche das Entweichen der im Wasser befindlichen Luft verhindert. So sind denn auch die langsamer fließenden, schmutzigeren Flüsse des flachen Landes, welche gewöhnlich schneller zufrieren als die Bergbäche, häufig mit einem blasigen, undurchsichtigen Eise bedeckt. Doch auch dann, wenn das Wasser im luftleeren Raume erstarrt, erzeugen sich mitunter Bläschen, die durch die Dämpfe entstehen sollen, welche durch die beim Erstarren frei werdende Wärme und begünstigt durch das Vacuum zur Entwickelung gelangen.

Das specifische Gewicht des Eises ist geringer als das des Wassers und wird von verschiedenen Physikern verschieden angegeben, was sich aus der jedenfalls ungleichen, namentlich mehr oder weniger blasigen Beschaffenheit der untersuchten Stücke hinreichend erklärt. Williams fand 0,945, Osann 0,9268, Dumas 0,95 und Irwine und Scoresby erhielten 0,937.

Das Eis ist für Wärme aus dunkler Quelle so gut als nicht leitend. Dagegen läßt es Wärmestrahlen aus leuchtender Quelle hindurch, ohne sich selbst zu

*) Gehler, N. A. Bd. III. S. 107.

**) Die Krystallisationen des Eises aus vielen eigenen Beobachtungen dargestellt. Leipzig 1844 mit 5 Kpft.; Hessel in Kastner's Archiv. Bd. X. S. 229; Henrici in Poggend. Ann. Bd. XLIII. S. 407; Ehrenberg ebendas. Bd. XXXVI. S. 238.

erwärmen (s. Diathermanität und Wärme). Deshalb kann auch eine Linse aus Eis, gerade so wie eine gläserne Linse, die durchgehenden Sonnenstrahlen concentriren, und Mairan hat in der That mit einer derartigen Linse von 4 Zoll Durchmesser und $3^1/_3$ Zoll Brennweite Schießpulver entzündet. — Wegen seiner geringen Wärmeleitungsfähigkeit dient das Eis den von ihm bedeckten Flüssen als schützende Hülle, welche eine sehr beträchtlich weiter gehende Erkaltung des Wassers verhindert, namentlich wenn es noch mit einer Schneelage versehen ist. In Sibirien ist es gebräuchlich, Scheiben von klarem Eis als Fenster zu benutzen und zum Theil auch vor die Glasfenster als Doppelfenster zu setzen, indem man sie durch Begießen mit Wasser einfrieren läßt.

Die specif. Wärme des Eises ist, die des Wassers = 1,00 gesetzt, nach Kirwan 0,90, nach Avogadro 0,92 und nach Clement und Desormes 0,72.

Auch ist das Eis, so lange es trocken ist, ein Nichtleiter der Elektricität; denn in den Entladungskreis einer Volta'schen Säule gebracht, hindert es die Entladung vollständig. Erman *) stellte hierüber Versuche an, indem er Platindrähte in mit Wasser angefüllten Glasröhren einfrieren ließ, so daß dieselben innerhalb der letzteren um $^1/_8$ Zoll von einander abstanden. Als er nun diese Drähte mit den Polen der Säule in Verbindung setzte, zeigte sich nicht die geringste Spur eines Ueberganges von Elektricität. Trocknes Eis ist ein so guter Nichtleiter der Elektricität, daß Achard **) daraus einen Cylinder verfertigen konnte, der die Stelle des Glascylinders in der Elektrisirmaschine mit Erfolg vertrat.

Das Eis schmilzt oder thaut auf, wenn es bei einer Temperatur von 0° diejenige Wärmequantität in sich aufnimmt, welche den tropfbar-flüssigen Zustand bedingt. Darum wird beim Schmelzen des Eises der umgebenden Luft ein Theil ihrer Wärme entzogen, und dieser Theil wird latent, in sofern er eben nur dazu dient, den Uebergang des Eises in die tropfbare Form zu bewirken. Während des Schmelzens behält das Gemisch aus Eis und Wasser stets die Temperatur von 0° bei; sobald aber alles Eis in Wasser verwandelt ist, nimmt dieses die Temperatur der umgebenden Luft an. Das Aufthauen des Eises und Schnees wird vorzüglich begünstigt durch Regen und warmen Wind, daher beide an Orten, welche gegen die genannten Einflüsse geschützt sind, lange liegen blieben. Die Auflösung des Eises geschieht auch noch in der Weise, daß es, ohne in den tropfbar flüssigen Aggregatzustand überzugehen, an seiner Oberfläche Dampfform annimmt und sich so in der Luft zerstreut. Die Verdunstung des Eises ergiebt sich evident aus dem Gewichtsverlust, den ein der Luft ausgesetztes Eisstück erleidet, und dabei kann man zugleich bemerken, daß die Kanten und scharfen Ecken desselben eine allmälige Abstumpfung erfahren. So fand Dalton ***), daß eine Eisfläche von 28 Quadratzoll bei einer Temperatur von 0° bis $2^1/_2$° R. in der Stunde 9,6 Gran, also auf 1 Quadratzoll 0,34 Gran verlor. Es versteht sich von selbst, daß hierbei der Feuchtigkeitszustand der Luft von Belang ist. Nach einer Tabelle über die Spannkraft des Wasserdampfes für verschiedene Temperaturen, welche im Artikel Dampf S. 132 aufgestellt ist, giebt Eis bei — 32° C. noch Dämpfe, deren Spannkraft einer Quecksilbersäule von 0,310 Millimeter das Gleichgewicht halten kann.

*) Gilb. Ann. Bd. XI. S. 166.
**) Gilb. Ann. Bd. II. S. 168.
***) Mém. of the phil. soc. of Manchester T. V.; Gilb. Ann. Bd. XV. S. 140.

Wir wenden uns nun zur Betrachtung derjenigen Eisgebilde, wie sie beim Gefrieren der Flüsse, Seen und Meere in der Natur vorzukommen pflegen.

Im Winter müssen die oberen Wasserschichten erkalten, einmal weil sie mit kalter Luft in Berührung kommen, dann auch, weil ihre Wärme des Nachts durch Ausstrahlung bedeutend vermindert wird. Während des Erkaltens werden aber die Wasserschichten an der Oberfläche dichter, sie sinken deshalb in die Tiefe hinab und werden durch andere ersetzt, welche gleichfalls erkalten und niedersinken. Dies geht so fort, bis die ganze Wassermasse auf etwa 4° C., wo das Wasser seine größte Dichte hat, erkaltet ist. Geht von hier an die Erkaltung der oberen Wasserschichten noch weiter, so dehnen sich dieselben wieder aus, sie werden leichter und können deshalb auch nicht mehr in die Tiefe hinabsinken. Darum kann sich das Eis nur auf der Oberfläche bilden und seine Dicke eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Aus dem Gesagten folgt aber auch, daß ruhige und tiefe Gewässer nur bei einer strengen, andauernden Kälte zufrieren können.

Beim Flußwasser bewirkt die beständige, ungleiche Bewegung der Wassertheilchen eine etwas andere, mitunter wohl mehr gleichförmige Vertheilung der Wärme in den verschiedenen Schichten. Doch bildet sich das Eis der Flüsse in den meisten Fällen wie bei den Seen auf der Oberfläche, indem es vom Ufer nach der Mitte hin fortschreitet. Weniger häufig kommt es vor, daß zuerst in der Mitte kleine Eisschollen sich bilden, die aber bald eine bedeutende Größe erreichen. Auch friert ein Fluß bei hohem Wasserstand weniger schnell zu, als bei niedrigem.

Wohlbegründeten Thatsachen zufolge unterliegt es keinem Zweifel, daß in Strömen mitunter auch eine Eisbildung auf dem Grunde stattfindet. Genauere Beobachtungen über das Grundeis hat zuerst Hales *) angestellt und auch schon die Entstehung desselben angedeutet. Nach ihm und anderen Beobachtern ist die Temperatur der Luft vor und während der Bildung des Grundeises bedeutend tief unter 0°, und zwar fand er, wie auch Desmarest **), dieselbe bei — 9° C. Hugi ***) beobachtete eine Temperatur von — 5° und — 11°,2, und Fargeau eine solche von — 13°,7. Was die Temperatur des Wassers selbst betrifft, so haben Hugi, Merian, Fargeau und Duhamel dieselbe auf dem Grunde und meist auch auf der Oberfläche bei 0° gefunden. Ausführliche Beobachtungen über das Grundeis der Aar wurden von Hugi angestellt. Vom 2. bis 5. Februar 1827 ging die Aar bei Solothurn mit Eis, am 15. war sie offen, am 16. floß sie ruhig und ihr Wasser war vollkommen klar. An diesem Tage bei Ostwind stieg von 60 Fuß unter der Brücke und auf einer Strecke von 500 Quadratfuß unaufhörlich eine Menge großer Eisschollen aus dem Grunde des Flusses in die Höhe. Die meisten dieser Schollen stiegen vertical ein bis zwei Fuß über die Oberfläche empor, blieben einige Zeit in dieser Stellung und legten sich dann, um horizontal fortzuschwimmen. Eine Erscheinung derselben Art hatten nach Hales auch die Bootsleute auf der Themse wahrgenommen. Von der Brücke ab fließt die Aar mit Schnelligkeit auf einem 20° bis 30° geneigtem Bette, welches hier und da ganz steinig ist. Ueber der Stelle, wo sich die Eisschollen erhoben, bildete sich in dem schon ruhig gewordenen Wasser beständig eine Art Strudel.

*) Vegetable statics 1731.
**) Mém. de l'Acad. 1776; Journ. de ph. 1783. T. I. p. 30.
***) Sur la glace au fond des eaux. Bibl. univ. T. XLI. p. 201.

Die Temperatur der Luft war — 5°,7, nahe am Wasser — 4°,9, an der Oberfläche des Flusses 2°,1, am Brückenbogen, wo sich kein Eis bildete, 3° und am Boden, von wo das Eis aufstieg, 0° C. — In der Nacht vom 11. zum 12. Februar 1829 fiel die Temperatur der Luft auf — 14° C. Am 12. bei Sonnenaufgang sah Hugi den Fluß mit großer Heftigkeit Eis treiben, obschon er nirgends auf seiner Oberfläche gefroren war. Aus diesem Eise bildeten sich gegen Mittag sogar mehrere Eisinseln, und am 13. waren deren 23 entstanden. Die größte hatte 100 Fuß im Durchmesser. Alle bestanden aus einer $2^1/_2$ bis 4 Zoll dicken Schicht von compactem Eise, die auf einer 9 bis 12 Fuß tiefen, auf dem Boden des Flusses festsitzenden lockern Eismasse, von der Gestalt eines umgekehrten Kegels, ruhte. An die Luft gebracht verwandelte sich die Masse dieser Kegel rasch in ein körniges Eis. Zur Zeit der Beobachtung war die Temperatur der Luft 28 F. über dem Flusse — 11°,2 C., 4 F. über demselben — 9°,4, im Wasser in 2 Zoll Tiefe 0°, in 5,5 Fuß Tiefe + 1°,6 Zoll vom Boden + 1°,5, am Boden selbst + 2°,4; 2 bis 3 Fuß tief im Boden des Flußbettes + 8°. Diese Temperaturen wurden jedoch an einer Stelle des Flusses bestimmt, wo kein Grundeis war.

Fargeau machte Beobachtungen am 25. Januar 1829 am Rhein bei Straßburg. In einer kleinen Bucht, wo das eben nicht tiefe Wasser an einen raschen Strom grenzte, sah er alle Kieselsteine mit einem schwammigen Eise bedeckt, das in größerer Masse an einigen Holzstücken und im Bette des Stromes an Steinen vorkam. Dasselbe riß sich hier und da vom Boden los, und bewegte sich dann auf der Oberfläche des Wassers fort. Die Temperatur des letzteren war überall, wo sich Grundeis zeigte, auf der Oberfläche und am Boden 0°. Knight*) beobachtete 1816 die Erscheinung in dem kleinen Flusse Teme in Herfordshire. Derselbe fand nach einer sehr kalten Nacht unterhalb einer Schleuse, die zum Betriebe mehrerer Mühlen angelegt war, alle hervorragenden Steine mit einer weißen Kruste überzogen, und in dem Wasser, das über das Wehr herabstürzte, eine außerordentliche Menge schwimmender Eisnadeln. Aus solchen, nach allen Richtungen sich durchkreuzenden, Nadeln war auch jene Kruste zusammengesetzt.

Einige beachtenswerthe, hierher gehörige Versuche hat Strehlke**) zu Berlin im Februar 1832 in einem schnell fließenden Kanale angestellt, der ein Arm der Spree ist und die Werder'schen Mühlen treibt. Am 12. Februar trat nach gelinder Witterung Frost ein, so daß am 14. die Temperatur Abends 10 Uhr — 8°,75 C. war. Um diese Zeit ließ Strehlke in das Wasser des Kanals einen Korb hinab, der mittelst einer Leine an einem Flosse befestigt und mit Ziegelsteinen und Metallplatten beschwert war. Außerdem befand sich in demselben noch eine langhaarige, durch Holzstücke festgeklemmte Bürste. Die Tiefe, bis zu welcher dieser Korb eingesenkt wurde, betrug etwa 3 Fuß und seine Entfernung vom nächsten Ufer 7 bis 8 Fuß. Die Temperatur des Wassers war in der Tiefe wie an der Oberfläche 0°. Der Himmel blieb die ganze Nacht hindurch heiter, und als Morgens gegen 7 Uhr der Korb heraufgezogen wurde, zeigte sich die Oberfläche des Wassers nirgends gefroren, während die Wände des Korbes und die in ihm befindlichen Gegenstände überall mit Eisblättchen bedeckt waren, welche sich

*) Phil. Trans. T. CVI.
**) Poggend. Ann. Bd. XXVIII. S. 233.

leicht ablösen ließen. An den Zinkplatten hingen sie reichlicher als an den Kupfer- und Messingplatten, deren Oberfläche glätter war; besonders stark waren aber die Haare der Bürste damit besetzt. Diese Blättchen waren weiß und von geringer Durchsichtigkeit; sie erschienen als Polygone, die sich der Kreisgestalt näherten, hatten 6 bis 8 Linien Durchmesser und 3 bis 4 Zehntel Linie Dicke. Eine halbe Stunde später sah Strehlke auch auf der Oberfläche des Wassers eine Menge solcher Eisblättchen schwimmen, während andere an Eisnadeln hingen und von diesen festgehalten wurden. In den darauf folgenden Nächten bis zum 21. wurden diese Versuche wiederholt, aber ohne Erfolg. Es wird bemerkt, daß die Temperatur des Wassers vom 16. Februar an über 0° war, wie auch, daß der Feuchtigkeitszustand der Luft, nach psychrometrischen Messungen von August, im Zunehmen begriffen war.

Eis von derselben Beschaffenheit, wie das eben beschriebene, bemerkte Strehlke auch im Januar 1828 zu Marienburg auf der Nogath, einem Arme der Weichsel. Nachdem der December des Jahres 1827 ungewöhnlich mild gewesen, trat mit dem 1. Januar 1828 Frost ein. Am 4. Januar (Morgens) war der Fluß, der an beiden Ufern Eisränder hatte, von schmutzigen, runden Eisblättern bedeckt, welche locker zusammengehäuft und an manchen Stellen zu größeren Eisschollen durch das dazwischen getretene Wasser des Flusses verbunden waren. Sowohl diese Schollen als auch die beiden Eisufer zeigten sich deutlich aus kleineren Eisblättern zusammengesetzt, welche den ganzen Fluß mehr als einen Fuß hoch überdeckten. Der Zusammenhang derselben war übrigens so locker, daß das Boot, worin sich Strehlke befand, ohne sonderliche Mühe hindurch kommen konnte. Als derselbe einige Stunden später auf dem Wege nach Danzig den zweiten Arm der Weichsel erreichte, fand er diesen schon zugefroren, und Nachmittags konnten einzelne Fußgänger auf Brettern, welche über die ganze Breite des Stromes gelegt waren, das andere Ufer erreichen. Es ließ sich erkennen, daß diese Eisdecke aus den Eisblättern zusammengesetzt war, welche am Morgen noch unverbunden die Oberfläche der Nogath bedeckten. Strehlke bemerkt noch, daß, so viel er erfahren habe, die Grundeisbildung immer dem Zufrieren der Weichsel vorangehe, und daß sie das Zufrieren des Flusses wieder einleite, wenn derselbe durch Thauwetter einmal wieder aufgegangen sei.

Gegenstände, denen das Grundeis adhärirt, werden durch das letztere nicht selten mit an die Oberfläche des Wassers gebracht. So geschieht es, daß die Ankerketten der Schiffbrücken am Rhein mitunter aus einer beträchtlichen Tiefe in die Höhe gehoben werden. Es ist dies eine Erscheinung, die sich genügend aus dem geringeren specifischen Gewichte des Eises in Beziehung auf das Wasser erklärt.

Wir haben bereits früher angeführt, daß die Eisbildung bei stehenden Gewässern nur auf der Oberfläche stattfinden könne, da hier der Grund, wenn die Tiefe bedeutend ist, nicht unter + 4° C. erkalten wird. Bei fließendem Wasser dagegen, wo die ungleiche Bewegung der Wassertheilchen, namentlich auf unebenem Boden, eine Lagerung der Wasserschichten nach ihrem verschiedenen specifischen Gewichte nicht zuläßt, ist es wohl möglich, daß die ganze Masse, eben durch die Vermengung der ungleich erwärmten Schichten, eine gleichförmige Temperatur annimmt. Ist nun die Masse überall auf 0° erkaltet, so wird sich das Eis am Boden bilden, wenn hier rauhe und spitze Körper sich darbieten, die geschickt sind, den Krystallisationsproceß einzuleiten. An der Oberfläche können keine Eiskrystalle entstehen,

weil hier die Bewegung des Wassers zu stark ist, während am Boden, wo die minder starke Bewegung nur der Bildung eines regelmäßigen und compacten Eises hinderlich ist, an den erwähnten Körpern eine Menge kleiner Eisfäden zur Entwickelung gelangt, die sich an einander legen und dann eine Eismasse von jener schwammigen Beschaffenheit bilden, welche das Grundeis charakterisirt. Arago *), von dem diese Erklärung herrührt, macht darauf aufmerksam, daß dieselbe nicht als vollständig zu betrachten sei. So sei es namentlich noch ungewiß, ob nicht die kleinen im Wasser schwimmenden Eisblättchen, von denen Knight berichtet, bei dieser Erscheinung eine wesentliche Rolle spielten. Diese Blättchen könnten durch die Berührung mit der Luft, wenigstens an ihrer Oberfläche, eine Temperatur unter 0° erlangen, und dann, durch eine Strömung niedergezogen, die in dem Flußbette liegenden Kieselsteine erkalten; dann gedenkt er noch einiger Versuche von Hugi, welcher auf den Boden der Aar an der Stelle, wo das Grundeis sich bildete, Krüge, mit heißem und kaltem Wasser gefüllt, hinabließ. Die mit heißem Wasser gefüllten Krüge waren nun beim Herausziehen mit einer Zoll dicken Eiskruste bedeckt, während die anderen sich ganz frei davon zeigten. Dasselbe Resultat gaben kalte und heiße, in Zeug gehüllte Kugeln. Arago erinnert, daß bei diesen Versuchen wohl darauf zu sehen sei, daß die eingetauchten Körper an ihrer Oberfläche von derselben Beschaffenheit und nur in ihrer Temperatur verschieden seien. Diese Erscheinung, wenn sie in der Wirklichkeit bestehen sollte, rührt nach seiner Meinung wahrscheinlich von Strömen her, welche durch den heißen Körper veranlaßt auch nach dessen Erkaltung noch fortbestehen und die schon gebildeten Eisfäden beständig nach ihm hintreiben.

Eine etwas andere Erklärung von der Bildung des Grundeises giebt Gay-Lussac **). Hervorragungen und dergleichen können, wie er zunächst bemerkt, den Krystallisationsproceß nur dann begünstigen, wenn dieselben plötzlich in gesättigte Salzlösungen oder in Wasser kommen, das unter den Gefrierpunkt erkaltet ist. Nicht zuerst am Boden, sondern vielmehr an der Oberfläche des Wassers bildet sich eine Fülle von Eiskrystallen, wenn bei heiterer trockner Luft plötzlich Kälte eintritt und dann die Erkaltung der oberen Wasserschichten noch durch die Verdunstung beschleunigt wird. Diese Eiskrystalle, deren Temperatur unter 0° C. liegt, verbreiten sich wegen der beständigen Bewegung durch die ganze Wassermasse und ertheilen der letzteren, indem sie sich wieder auflösen, die Temperatur des Gefrierpunktes. Sobald dies geschehen ist, werden die neu entstandenen und unter 0° erkalteten Eiskrystalle durch die Gewalt des Wassers gleichsam in die Tiefe hinabgedrückt, wo sie an hervorragenden Gegenständen lose gefrieren und dann, mit anderen vereinigt, die schwammige Masse des Grundeises bilden. Sehr stark erkaltete und feine Eisnadeln können, wenn sie sich dicht an einander legen und das zwischen ihnen befindliche Wasser ebenfalls gefriert, feste Gegenstände (wie die Steine am Boden) mit einer festen Eisrinde überziehen. Gay-Lussac führt noch zur Erläuterung und Bestätigung seiner Ansicht einen Versuch an. Wenn nämlich Erbsen, einige Grade unter 0° C. erkaltet, in Wasser von 0° gebracht werden, so frieren sie am Boden fest. Man kann das Gefäß umkehren und das Wasser ausgießen, ohne daß die Erbsen herausfallen. Durch Vereinigung

*) Annuaire pour l'an 1833. p. 244. Poggend. Ann. Bd. XXVII. S. 204.
**) Ann. de Ch. et Ph. T. LXIII. p. 359.

jener Eisnadeln auf der Oberfläche des Flußwassers entsteht auch hier ein Eis von schwammiger Beschaffenheit.

Mohr *), welcher Beobachtungen über das Grundeis des Rheins anstellte, wendet gegen die Erklärung von Gay-Lussac ein, daß während der Grundeisbildung durchaus keine Eisnadeln im Flusse bemerkt würden, und daß diese Bildung in einer Tiefe stattfinde, bis zu der unmöglich eine erkältete Eisnadel gelangen könnte, ohne die Temperatur des umgebenden Wassers anzunehmen. Dann sei auch nicht ersichtlich, wie die Eispartikeln bis zur Tiefe von 6 bis 8 Fuß hinabgeführt werden könnten, da doch die Bewegung des im ebenen Bette gehenden Flusses blos horizontal sei. Die Ursache hierzu möchte indessen dieselbe sein, welche veranlaßt, daß die ganze Wassermasse allmälig die Temperatur des Gefrierpunktes annimmt. Auch kann wohl nicht behauptet werden, daß die Bewegung der verschiedenen Wassertheilchen eben nur im horizontalen Sinne von Statten gehe. Der Versuch mit den Erbsen ist allerdings nicht entscheidend, da diese mit den Eisnadeln nicht in dieselbe Kategorie gebracht werden können. Die an der Oberfläche gebildeten Eisnadeln sind aber vielleicht nur in sofern nicht wahrzunehmen, als sie wegen der Bewegung des Wassers beständig durch die Masse des letzteren verbreitet werden, ohne dessen Durchsichtigkeit wesentlich zu beeinträchtigen. Doch behauptet Mohr, daß die Bildung feiner Eisnadeln, wie sie Gay-Lussac voraussetzt, niemals im Rheine vorkomme.

Außerdem hat man, um die Entstehung des Grundeises zu erklären, noch darauf aufmerksam gemacht, daß die am Boden hervorragenden Gegenstände durch eine allmälige Abgabe ihrer Wärme an das, auf den Gefrierpunkt erkaltete, Wasser und durch Ausstrahlung eine Temperatur unter 0° C. annehmen, und so vorzugsweise zur Bildung des Grundeises mitwirken möchten.

Großartiger tritt uns die Eisbildung in den Polarmeeren entgegen. Das Eis bildet hier theils zusammenhängende, weit ausgedehnte Ebenen, die man Eisfelder nennt, theils Massen von geringerer Ausdehnung, welche schwimmend nach einer bestimmten Richtung sich fortbewegen, und den Namen Treibeis erhalten haben. Endlich erscheint es auch in Massen von sehr bedeutender Höhe, welche Eisberge heißen, und entweder schwimmend oder fest in den Polarmeeren angetroffen werden.

Die Eisfelder, welche man an den Küsten von Norwegen und Spitzbergen wahrnimmt, haben nach Scoresby **) eine Höhe von 4 bis 5 Fuß über dem Wasser, eine Dicke von 20 bis 25 Fuß und eine Oberfläche von 300 bis 400 Quadratmeilen. Die letztere ist bei manchen Eisfeldern fast vollkommen eben, bei vielen anderen dagegen mit beträchtlichen Erhöhungen (Hummocks) versehen, die durch übergeschobene große Eisstücke oder durch zusammengewehten Schnee entstanden sind.

Das Meerwasser hat wegen seines Salzgehaltes einen tieferen Gefrierpunkt als das süße Wasser, und zwar liegt die Temperatur dieses Punktes im Allgemeinen um so tiefer, je größer die Menge des aufgelösten Salzes ist. Das Seewasser des grönländischen Meeres, dessen specifisches Gewicht 1,0263, gefriert bei — 2°,01 C.

*) Poggend. Ann. Bd. XLIII. S. 529.
**) Ann. de chim. et phys. 1817; Gilb. Ann. Bd. LXII. S. 4.

Wenn es aber durch Frost bis 1,1045 concentrirt ist, so erstarrt es bei — 10°, und völlig mit Seesalz gesättigtes Wasser bei — 20°. Während nämlich das Seewasser gefriert, nimmt die Dichte und Concentration des flüssigbleibenden Theiles fortwährend zu *). Das gebildete Eis ist aber meist ebenso rein, als das des süßen Wassers.

Obschon man annehmen darf, daß in den Polarmeeren Kanäle, Buchten und Meerengen besonders günstige Bedingungen für die Entstehung des Eises darbieten, so unterliegt es doch, den Beobachtungen von Scoresby zufolge, keinem Zweifel, daß Eisfelder auf dem offenen Meere entstehen. Derselbe erzählt, daß das Wasser durch eine große Menge von Eiskrystallen in eine Art Schlamm (sludge) verwandelt werde, der die Oberfläche ähnlich wie Oel zu beruhigen scheine. Diese Krystalle vereinigen sich allmälig in kleine Eisschollen, welche, durch die Bewegung des Wassers behindert, einen Durchmesser von nur 3 Zoll annehmen können. Nach und nach werden sie aber dicker, und erreichen damit auch die Fähigkeit, sich unter einander zu größeren Flächen zu verbinden. Durch den Wellenschlag und die gegenseitige Reibung runden sie sich ab, und erhalten einen aufstehenden scharfen Rand, um dessentwillen sie von den Seefahrern Pfannkuchen (Pancakes) genannt werden. Die größten unter ihnen haben mehr als 1 Fuß Dicke und einen Umfang von mehreren Klaftern. Aus ihnen entstehen endlich die sogenannten Treibeistafeln (Floes), die sich dann zu ausgedehnteren Massen vereinigen. In Buchten und Kanälen, wo die See ruhiger ist, werden sich natürlich schon anfänglich größere, zusammenhängende Eisdecken bilden, die allmälig von unten her an Dicke zunehmen. Dazu kommt aber auch noch eine Vergrößerung von oben, und zwar durch den Schnee, welcher während der Wintermonate dort fällt und auf der schon gebildeten Decke sich anhäuft. Diese Schneemasse erleidet in der wärmeren Jahreszeit eine partielle Schmelzung, und wird dann durch den nächsten Frost in Eis verwandelt.

Südliche und südwestliche Strömungen treiben das Polareis nach den wärmeren Klimaten. Treibeismassen, welche häufig nur Bruchstücke größerer Eisfelder sind, werden durch Stürme und Wellen in kleinere Stücke zerbrochen, welche hier und da unter furchtbarem Getöse zusammentreffen, und mitunter auch durch Stoß, Wind und ungleiche Strömungen in eine drehende Bewegung gerathen. Beim Zusammenstoß zweier Eisfelder wird meist das kleinere zertrümmert, manchmal werden aber auch beide zermalmt, und ein Schiff, welches das Unglück hatte, dazwischen zu gerathen, erleidet gewöhnlich dasselbe Schicksal. Die ungeheure Masse dieser Eisstücke, verbunden mit einer nicht unbeträchtlichen Geschwindigkeit, macht die gewaltige Stoßkraft derselben sehr leicht begreiflich. Eine unübersehbare Menge von Treibeisstücken, welche vereint fortfließen, nennt man Packeis.

Die Eisberge, welche zahlreich in den grönländischen Meeren, von besonders auffallender Größe aber in der Baffinsbay vorkommen, ragen je nach dem Unterschiede des specifischen Gewichts des Eises und des Wassers, mehr oder weniger über der Oberfläche des letzteren hervor. Ihre Gesammthöhe beträgt 300 bis 600 und mitunter sogar 1000 Fuß. So fand Scoresby in der Davisstraße Eisberge von 12000 Fuß Länge, 4000 Fuß Breite und mit Hörnern und Spitzen

---

*) Ueber das Dichtigkeitsmaximum des Seewassers s. den Artikel Ausdehnung. Bd. I. S. 596.

von mehr als 100 F. Höhe, so daß mindestens noch 500 F. unter dem Wasser standen. Dann gab es auch Massen, die 180000 Quadratfuß Oberfläche hatten, 150 Fuß über der Oberfläche des Meeres emporragten und in 90 bis 100 Klafter tiefem Wasser auf dem Grunde lagen. Ihr Gewicht mußte über 40000 Millionen Centner betragen. Sehr groß ist auch ihre Anzahl. Capitain Roß zählte ihrer im Juni 1818 in der Baffinsbay unter 70° nördl. Breite gegen 700. Die Eisberge werden wie die Eisfelder von den beiden Polen her der gemäßigten Zone zugetrieben; doch pflegen die vom Südpol kommenden selten den 42° oder 44° südl. Breite zu überschreiten, während die Treibeismassen des Nordens bis zu 40° n. Br. vorrücken. Die Eisberge bilden sich vorzugsweise an den Küsten und scheinen namentlich die Thäler, welche ins Meer führen, gletscherartig auszufüllen, und sich dann von hier aus weiter in das letztere fortzusetzen. Das sie zusammensetzende Eis ist wohl schwerlich durchweg von gleicher Elasticität und Festigkeit, und daher leicht ein Zerbersten derselben möglich. Mächtige Stücken lösen sich ab, stürzen ins Meer und bewegen sich nach verschiedenen Schwankungen als Eisberge fort. Capitain Roß *) beobachtete zu Boothia Felix, daß das Eis durch heftige Kälte sehr leicht brüchig werde, und daß dann in den Eisbergen ein gewaltiges Krachen stattfinde. Wie Scoresby erzählt, reicht oft ein Schlag mit der Axt hin, um einen ganzen Eisberg mit großem Krachen aus einander zu spalten. Andere Eisberge scheinen dadurch zu entstehen, daß Eisstücke, welche durch die Wellen gehoben werden, auf andere Eisblöcke fallen. Dies soll nicht selten bei der Zertrümmerung der Eisfelder vorkommen, wo Eisstücke von ungeheurer Größe auf einander geschoben werden, so daß sie 20 bis 30 Fuß aus dem Wasser hervorragen. Einen ähnlichen Ursprung haben zum Theil auch die sogenannten Torossen, welche v. Wrangel **) auf dem sibirischen Eismeere beobachtete. Dieselben erheben sich bis zu einer Höhe von 80 Fuß über der ebenen, dem sibirischen Festlande ähnlichen Eisfläche, auf welcher der Schnee in der Form von Hügeln zusammengeweht ist, und bestehen aus zusammengefrornen Eisschollen, welche durch den Wind auf einander geschoben wurden. Von manchen größern Torossen, die ihren Ort nicht verlassen, nimmt man an, daß sie auf dem Grunde, dessen Tiefe nicht sehr bedeutend ist, aufsitzen. Das Aussehen solcher Torossen ist von dem der gewöhnlichen Eisberge sehr verschieden, und man soll häufig deutlich erkennen können, daß sie aus angehäuften Eisschollen bestehen, die höchstens 42 Zoll dick und manchmal sehr regelmäßig über einander geschichtet sind. Während die kleineren Torossen offenbar als aufgehäufte Bruchstücke von Eisschollen erscheinen, ist bei den großen nicht so ohne Weiteres klar, wie bei ihnen das Aufeinanderschieben so vieler einzelner Schollen von Statten ging. Doch hat man mit Recht bemerkt, daß hier nicht bloß ein Aufeinander-, sondern auch ein Untereinanderschieben stattgefunden habe. Dann nimmt man noch hinzu, daß einzelne Lagen von Schnee durch partielles Aufthauen und nachmaliges Gefrieren sich in Eis verwandelt hätten. Die kleineren Torossen finden sich an den Rändern offener, fahrbarer Stellen von unbestimmter Ausdehnung und länglicher Gestalt, welche meist von S. W. nach N. O. laufen und Polinjen genannt werden. Nach Parrot entstehen die letzteren dadurch,

*) Narrative of a second Voyage to the discovery cet. Lond. 1835. 4. App. p. CXVI.

**) Physik. Beobachtungen während seiner Reise auf dem Eismeere, in den Jahren 1821, 1822 und 1823, herausgegeben von G. F. Parrot. Berlin 1827.

daß die wogende und stets strömende Masse des Meeres die schwächsten Stellen der Eisdecke fortschafft und die Bruchstücke derselben über oder unter die widerstehende Eisfläche treibt *).

Die oben betrachteten Eisberge gewähren nach den übereinstimmenden Berichten der Seefahrer einen überraschenden, großartigen Anblick. Wegen ihrer bedeutenden Höhe sind sie schon aus beträchtlicher Entfernung zu erkennen, und machen sich überdies in größerer Nähe durch die Kälte fühlbar, welche sie verbreiten, indem sie der umgebenden Luft die Wärme zum Schmelzen ihres Eises entziehen. Roß schilderte namentlich ihre Farbenpracht. An den weißen Stellen sollen sie wie Silber glänzen, und an den übrigen mit den lebhaftesten Regenbogenfarben prangen. Scoresby spricht viel von den seltsamen Gestalten, die sie theils in der Wirklichkeit darbieten, theils durch Reproduction in der Phantasie hervorrufen. Im Sommer schmilzt ihr Eis durch die Wirkung der Sonnenstrahlen und das Wasser strömt dann in mächtigen Wasserfällen in das Meer herab. Obschon diese ungeheuren Eismassen der Polarmeere den Seefahrern nicht selten gefährlich werden, so gewähren sie doch anderseits manchmal auch Schutz gegen Winde und Treibeis. Im Sommer sammelt sich auf ihrer Oberfläche in Löchern Wasser, das durch das Schmelzen des Eises entsteht und süß ist. Darum füllen es die Seefahrer vermittelst Schläuche in ihre Fässer.

Auch die Eisfelder pflegen ihr Dasein schon aus sehr beträchtlicher Entfernung durch einen glänzend weißen Streifen am Horizonte zu verkünden. Man nennt diese Erscheinung den Eisblink (ice-blink). Nach Scoresby soll ein geübtes Auge, unter möglichst günstigen Umständen, aus den verschiedenen Schattirungen in diesem Eisblink auf 20 bis 30 Seemeilen ringsum die Gestalt und ungefähre Größe der verschiedenen Eisfelder, so wie auch das Treibeis und die offenen Wasserstellen mit ziemlicher Sicherheit beurtheilen können. Man betrachtet den Eisblink als eine Folge der irdischen Strahlenbrechung, bewirkt durch die verschiedene Temperatur der über dem Eis und den Wasserflächen befindlichen Luft **).

Es giebt nun noch eine andere Form der Eisbildung, welche gleichfalls in großartigem Maßstabe in der Natur auftritt, nämlich die Gletscher, worüber ein besonderer Artikel das Nähere lehren wird. Zu den seltenen Eisgebilden gehören diejenigen, welche in manchen Höhlen (Eishöhlen) vorkommen. Darüber s. d. Art. Höhlen.

Wir wissen, daß Eisbildung eintritt, sobald dem Wasser diejenige Quantität latenter Wärme entzogen ist, welche den tropfbar-flüssigen Zustand bedingt. Geht nun eine tropfbare Flüssigkeit, wie Wasser, in den dampf- oder gasförmigen Aggregatzustand, so wird auch dabei eine bestimmte Wärmequantität aufgenommen, die eben als latente Wärme die Formverwandlung der Flüssigkeit bewirkt (siehe Dampf und Wärme). Wenn die Verdampfung an der Oberfläche der Flüssigkeit ohne besonderen Wärmezufluß geschieht, so muß der Umgebung und den tieferen Schichten der verdampfenden Flüssigkeit die, zur Dampfbildung nöthige, Wärmemenge entzogen werden. Darnach entsteht bei jeder Verdunstung (s. d. Artikel) Kälte und zwar um so mehr, je schneller jene von Statten geht, so daß dadurch

*) Man vergl. auch d. Art. Meer.
**) Gilb. Ann. Bd. LXII. S. 32.

unter Umständen ein Theil der Flüssigkeit zum Erstarren gebracht werden kann. Der Verdampfungsproceß wird in hohem Grade begünstigt durch Verminderung des atmosphärischen Luftdruckes und durch Entfernung der Dämpfe, welche sich in jedem Moment aus der Flüssigkeit entwickeln und auf die Oberfläche der letzteren einen bestimmten Druck ausüben, der der ferneren Verdampfung entgegenwirkt. Man bringe unter den Recipienten der Luftpumpe ein flaches Gefäß mit Schwefelsäure und darüber ein Glas- oder Platinschälchen mit Wasser. Verdünnt man nun die Luft, so geräth das Wasser bald in eine sehr lebhafte Verdampfung, und weil die gebildeten Dämpfe von der Schwefelsäure begierig absorbirt werden, so wird die Dampfbildung dergestalt beschleunigt, daß das Wasser zu Eis erstarrt, indem die zur Dampferzeugung erforderliche Wärmemenge dieser Flüssigkeit selbst entnommen wird. Bei einer guten Luftpumpe hat das Wasser etwa 4 Minuten nach dem Auspumpen eine Temperatur von — 5° C. erreicht und erstarrt dann meist augenblicklich. Man kann das Wasser auch durch rasche Verdunstung einer anderen Flüssigkeit zum Gefrieren bringen. Dies geschieht, wenn man eine, ungefähr 1 Linie weite Glasröhre mit Baumwolle umwickelt, die letztere mit Schwefeläther benetzt, und dann das Ganze in irgend einem Glasgefäße unter die Glocke der Luftpumpe bringt. Wird jetzt die Luft verdünnt, so verdunstet der Aether mit großer Schnelligkeit und entzieht dabei dem Wasser so viel Wärme, daß es gefriert. Auch in Wollaston's sogenannten Kryophorus oder Eisträger (s. d. Artikel) erstarrt das Wasser durch die Verdunstungskälte. Ein sehr überraschender Versuch über künstliche Eisbildung ist von Boutigny bei Prüfung des Leidenfrost'schen Phänomens *) angestellt worden. Gießt man nämlich in eine glühende Platinschale schwefelige Säure und setzt man dann Wasser hinzu, so gefriert dieses während der Verdampfung der ersteren.

Als eine Wirkung der Verdunstungskälte betrachten Manche auch die bekannte Eisbildung zu Benares in Ostindien. Nach den Mittheilungen **) von Barker und Williams werden auf einem freien, ungefähr 4 Acres großem Felde quadratische Plätze von 4 bis 5 Fuß Seite, etwa 1 Fuß tief ausgegraben und mit dürrem Stroh oder trocknem Schilfrohr 4 Zoll hoch ausgefüllt. Auf dieses Lager wird eine sehr große Menge flacher, unglasirter, irdener Gefäße gestellt, welche des Abends mit Quellwasser angefüllt werden. Die Gefäßwände saugen wegen ihrer Porosität das Wasser begierig ein, so daß ihre Außenseite bald feucht erscheint. Am nächsten Morgen gegen 5 Uhr wird die Eiskruste herausgenommen, welche an der inneren Seite der Gefäße sich gebildet hat. Die Temperatur des Strohes ist immer einige Grade niedriger, als die der höheren Luftschichten, obschon dieselbe nie unter 2° C. herabsinkt. Nach den Wahrnehmungen Barker's liefern die hellsten und stillsten Nächte das meiste Eis, während Wolken und Winde einen nachtheiligen Einfluß üben, und wie Williams bemerkt, soll Wind die Eisbildung gänzlich verhindern. Um des letzteren Umstandes willen und gestützt auf einige Versuche von Wells sind andere geneigt, die hier in Rede stehende Eisbildung als ein Product der nächtlichen Wärmeausstrahlung zu betrachten. Wells

*) Siehe d. Art. Dampf. S. 43 ff.
**) Philos. Transact. T. LXV. p. 252. T. LXXXIII. p. 56 u. 129. Gren's Journ. Bd. VIII. S. 409.

stellte seine Versuche in England in den kühlen Nächten des Mai's und October's an. Derselbe setzte nämlich zwei Untertassen, jede mit zwei Unzen Wasser, auf einem Lager von Stroh dem freien Himmel aus. Am Morgen waren beide gefroren, und der eine Eiskuchen hatte 2½, der andere 3 Gran an Gewicht gewonnen. Hätte nun Verdunstung stattgefunden, so müßte, meint man, nothwendig ein Verlust an Gewicht stattgefunden haben. Außerdem hat Wells durch Versuche gezeigt, daß viele Körper in heiteren Nächten eine Temperatur von einigen Graden unter dem Gefrierpunkte annehmen können, während die Temperatur der Luft beständig einige Grade über dem Gefrierpunkt bleibt. Es hängt dies mit bekannten Gesetzen der Wärmeausstrahlung zusammen, die sehr durch die Oberflächenbeschaffenheit der betreffenden Körper bedingt ist (s. Wärme). Jenes Eis entstände also hiernach auf analoge Weise, wie der Thau und Reif. Auf der anderen Seite kann aber auch nicht geleugnet werden, daß die Umstände, unter denen die Eisbildung in Ostindien stattfindet, den Verdunstungsproceß begünstigen können. Der Wind freilich, welcher hier der Eisbildung hinderlich sein soll, ist der Verdunstung förderlich, aber in einem hohen Grade nur dann, wenn er noch wenig Wasserdampf enthält, ganz abgesehen davon, daß durch ihn der verdampfenden Oberfläche auch Wärme zugeführt und in sofern die Verdunstungskälte vermindert werden kann. Ueberdies wird noch angeführt, daß die Eisbildung durch einen Wind, welcher sich gegen Morgen erhebt, sehr befördert werde. Da also unter den angegebenen Umständen, wie es scheint, sowohl die Verdunstung als auch die Wärmeausstrahlung begünstigt ist, so bietet sich der Gedanke dar, daß hier beide Ursachen, wenigstens innerhalb gewisser Grenzen, zu demselben Effect zusammenwirken.

Es ist eine bekannte Thatsache, daß bei der Compression aller, namentlich auch gasförmiger, Körper Wärme frei wird. Wenn man z. B. atmosphärische Luft bis etwa auf ein Fünftheil ihres Volumens zusammenpreßt, so findet eine solche Wärmeentwickelung statt, daß ein Stück Schwamm sogleich entzündet wird. Wenn aber die in einem Gefäße stark comprimirte Luft, nachdem sie sich abgekühlt hat, durch ein feines Rohr entweicht, so erkaltet das letztere an der Oeffnung so bedeutend, daß daran hängende Wassertropfen gefrieren, indem diese Luft die ihr durch Compression entzogene Wärme aus der Umgebung wieder zu gewinnen sucht. Hierauf beruht ein einfaches Verfahren, das nach dem Berichte einer amerikanischen Zeitschrift Gorrie in Florida angegeben hat, um das Wasser sehr schnell zum Gefrieren zu bringen *). Dasselbe besteht der Hauptsache nach aus zwei Mechanismen. Durch eine kräftige Druckpumpe wird die Luft comprimirt und ihr so latente Wärme entzogen. Eine zweite Maschine bringt dann diese comprimirte Luft in Berührung mit Wasser, welches dadurch plötzlich abgekühlt wird, weil ihm die Luft die zu ihrer Ausdehnung erforderliche Wärme nimmt. Gorrie befestigt die Druckpumpe und den Mechanismus für die Ausdehnung der Luft an den zwei Enden eines gemeinschaftlichen Hebels, so daß die zum Comprimiren der Luft verwendete mechanische Kraft durch die Ausdehnung der Luft fast gänzlich wieder erstattet wird. Die durch die Compression der Luft entbundene Wärme wird von einem Dampfstrahl absorbirt, welchen eine kleine Pumpe in das Stiefelrohr der Compressionsmaschine treibt, während die Wärme, welche die Luft im

*) Dingler's Polyt. Journal. Bd. CXV. S. 159.

Augenblick ihrer Ausdehnung zur Herstellung ihrer Elasticität und der ihrer Menge und ihrem Volumen proportionalen Kraft nöthig hat, durch eine andere ähnliche kleine Pumpe geliefert wird. Die letztere saugt aus einer Cisterne Wasser an, um es in die sich ausdehnende Luft zu spritzen und dann in die Cisterne zurückzuführen. Diese Cisterne wird so ein Kältemagazin, und wenn man in dieselbe Gefäße mit Wasser taucht, so gefriert es darin nach einer gewissen Anzahl von Kolbenstößen.

J. Herschel, der dieselbe Idee schon vor Jahren mehreren seiner Freunde mitgetheilt hatte, bemerkt zu einem Artikel über Gorrie's Verfahren im Athenäum: Man könne sich auf dem Lande das für den Bedarf einer Familie erforderliche Eis verschaffen, wenn man einen alten Dampfkessel 20 bis 30 Fuß tief in den Boden eingrabe, mittelst einer Druckpumpe von der Oberfläche des Bodens aus in denselben Luft einpresse und dieselbe durch ein Rohr daraus abziehen lasse, welches mit einem Schlangenrohr verbunden die Luft im Wasser durch eine Brause hindurch entweichen läßt.

Fumet, Fabrikant wohlschmeckender Eismischungen in Paris, hat einen Apparat erfunden, mittelst dessen die Haushaltungen ihren Bedarf an Eis selbst bereiten können *). Dieser Apparat besteht in einem Gefäße aus Weißblech, welcher das Wasser oder das Gemisch desselben mit Zucker, Gewürzen rc., das zum Gefrieren gebracht werden soll, aufnimmt, und in einem blechernen Eimer, in welchen dieses Gefäß gestellt und worin es mit einer Kältemischung umgeben wird. Die von Fumet gebrauchte Kältemischung besteht aus 1,2 Theilen gepulvertem Glaubersalz und 0,8 Th. Salzsäure. Auf 1 Th. Wasser, das gefrieren soll, sind, wenn man an einem kühlen Orte operirt, und das Wasser vorher möglichst abkühlt, 2 Th. dieser Mischung nöthig. Dieselbe wird in dem Eimer selbst bereitet und zwar in zwei Portionen, indem man nach etwa 20 Minuten die erste Portion herausnimmt und durch die zweite ersetzt. Nach etwa 40 Minuten ist das Eis fertig. Ist das Wasser mit Zucker rc. versetzt, so sind zum Gefrieren 3 Th. der Kältemischung erforderlich, so daß das Eis etwa in $^3/_4$ Stunde fertig ist.

Zur Eisbereitung gebraucht man in Frankreich auch häufig als Kältemischung ein Gemenge von krystallisirtem Glaubersalz und verdünnter Schwefelsäure, worüber das Weitere im Artikel Kältemischung nachzusehen ist.

Die Aufbewahrung des Eises geschieht unter der Erde in Kellern, sogenannten Eisgruben, die man, wo thunlich, an erhöhten Orten anlegt. Den Eingang legt man höher als die Grube, und richtet ihn gegen Ost oder Nord. Zu demselben führt ein längerer, gekrümmter Gang, der mit mehreren Thüren versehen ist, damit die Wärme weniger eindringen kann. Die Wände der Höhle sind mit schlechten Wärmeleitern, wie mit Bast, Schilf oder Stroh bekleidet, und außerdem befinden sich in derselben noch einige Abzüge, um dem etwa entstehenden Wasser einen Abfluß zu bieten. Man bewahrt das Eis auch über der Erde in sogenannten Glacièren auf, welche aus doppelten Holzwänden bestehen, deren Zwischenräume mit einem schlechten Wärmeleiter, gewöhnlich mit Holzkohlen ausgefüllt sind.

Eisen. Chemisches Zeichen = Fe. Aequivalent = 350 (O = 100) oder 28 (H = 1).

---

*) Polyt. Centralblatt 1850. S. 110.

Das Eisen ist wegen seiner vielfachen Benutzung das wichtigste unter den Metallen. Es findet sich theils im metallischen Zustande, theils an Sauerstoff, Schwefel und als Oxyd an Kohlensäure ꝛc. gebunden; metallisches Eisen kommt jedoch nur selten in Meteorsteinen eingesprengt oder in größern meteorischen Massen vor, und ist daher immer kosmischen Ursprungs. Man gewinnt es aus den Eisenerzen und wendet es an als Roheisen, Stab- oder Schmiedeeisen und Stahl, niemals aber als reines Eisen.

Reines Eisen ist von fast silberweißer Farbe, stark metallglänzend, sehr zäh und weich, so daß es diese Eigenschaften in höherem Grade, als gewöhnliches weißes Stabeisen besitzt. Sein specifisches Gewicht ist 7,8. Man erhält es nach Berzelius, wenn zerschnittener feiner Eisendraht (nur sehr reines Eisen läßt sich zu feinen Drähten ausziehen) mit einem Viertel seines Gewichts reinem Eisenoxyd gemengt in einem hessischen Tiegel dem Gebläsefeuer bis zum Schmelzen des Eisens ausgesetzt wird. Das Gemenge bedeckt man mit Pulver von grünem Glase oder einem Gemisch von reinem Quarz, reiner Kalkerde und kohlensaurem Kali in dem Verhältniß, wie es zur Glasfabrikation angewendet wird; indem sich nun die geringen Mengen von Kohle und Silicium, welche im Drahte noch enthalten sind, auf Kosten des Sauerstoffs im Oxyde oxydiren, verbindet sich das überschüssige Oxyd und die gebildete Kieselsäure mit dem Glasflusse, unter dem sich reines Eisen im geschmolzenen Zustande findet. Nach Berzelius kann man bis auf $^1/_2$ Pfund im Gebläseofen schmelzen. In kleinern Quantitäten läßt sich reines Eisen darstellen, wenn über reines bis zum Dunkelrothglühen (etwa 360°) erhitztes Eisenoxyd Wasserstoffgas geleitet wird, bis sich kein Wasser mehr bildet. Der Sauerstoff des Oxyds verbindet sich mit dem Wasserstoff zu Wasser, das Eisen bleibt als fein zertheiltes, schwarzes Pulver zurück. Es hat in diesem Zustande, wie Magnus fand, die Eigenschaft wie Kohle Gas aufzusaugen und in seinen Zwischenräumen zu condensiren, sich daher an der Luft durch eine unbedeutende Temperaturerhöhung zu entzünden und zu verbrennen. Die Gegenwart von Wasserstoffgas ist, indem es vom Metalle allerdings zur Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft disponirt wird, nicht die Hauptursache; als Magnus solches Eisen nach der Reduction in Wasser aufnahm, und dieses verdunstete, entzündete sich das Metall dennoch, als es trocken zu werden anfing. Wurde das Wasserstoffgas nach der Reduction durch Kohlensäure ausgetrieben, ehe man das Eisen heraus nahm, so fand Magnus, daß es sich nicht entzündete, weil das kohlensaure Gas in einem weit größern Verhältniß als Luft absorbirt wird, und bei Aussetzung des Eisens an die Luft diese folglich die Kohlensäure austreiben mußte, welches langsam und mit Erniedrigung der Temperatur vor sich geht. Bei Gegenwart feuerfester Körper, wie Thonerde, Kieselerde ꝛc., vermehrt sich die Entzündlichkeit, weil diese eine noch feinere Vertheilung des Eisens verursachen und die Berührungsflächen zwischen ihm und dem Sauerstoff vergrößern. Reducirt man das Metall in der Glühhitze, so verliert es seinen fein porösen Cohäsionszustand und damit die Fähigkeit, an der Luft sich zu entzünden, doch nicht bei Anwesenheit vorgenannter Substanzen.

Die Krystallform des Eisens ist wahrscheinlich der Würfel. Stabeisen, das lange Zeit der Glühhitze ausgesetzt war, zeigte einen grobblättrigen Bruch und Spaltungsrichtungen nach den Flächen des Würfels. Bisweilen findet man in den Höhlungen von großen Massen erkalteten Gußeisens Andeutungen von Krystalli-

sation, welche auf die Form des Würfels führen. Reducirt man Eisenchlorür durch Wasserstoffgas, so setzt sich das Eisen als spiegelnde glänzende Schicht an die Glaswände an, worin man zuweilen kleine gut ausgebildete, würfelförmige Krystalle bemerkt.

An Festigkeit und Zähigkeit übertrifft das Eisen alle andern Metalle; ein Eisendraht von $^1/_3$ Linie Durchmesser trägt 60 Pfund; bei dickern Eisenstäben ist die Zähigkeit verhältnißmäßig geringer, da sie im Innern nicht die gleichmäßige faserige Textur haben, wie ein feiner Eisendraht, sondern oft noch krystallinisch sind. Von besonderer Wichtigkeit für die Anwendung des Eisens ist aber seine Eigenschaft, weit unter seinem Schmelzpunkte zu erweichen und sich dann unter dem Hammer beliebig formen zu lassen. Es schmilzt erst bei Temperaturen, die man nur im Gebläseofen hervorbringen kann, bei ungefähr 1500°; doch schon bei Rothglühhitze wird es so weich, daß man es mit Hämmern und Walzen leicht bearbeiten kann, in der Weißglühhitze wird es noch weicher, so daß sich getrennte Stücke in diesem Zustande zu einem einzigen vollkommen homogenen Stücke zusammenhämmern lassen; das Eisen ist daher schweißbar. Doch nur oxydfreie, vollkommen metallische Flächen lassen sich schweißen; man muß daher die heißen Flächen, welche sich an der Luft leicht oxydiren, mit etwas Sand bestreuen, der sich mit dem Oxyde zu einem leicht schmelzbaren Eisensilikate, nach Mitscherlich drittel — kieselsaures Eisenoxydul $Fe_3\,Si$, verbindet, welches beim Hämmern vollständig ausgepreßt wird. Außer dem Eisen besitzt nur Platin diese Eigenschaft.

Das Eisen wird bei gewöhnlicher Temperatur vom Magnet angezogen und wird selbst magnetisch. Reines Eisen verliert seine magnetischen Eigenschaften, sobald die auf dasselbe einwirkende magnetische Kraft entfernt wird; ist es etwa durch Verbindung mit wenig Kohlenstoff gehärtet oder in Stahl verwandelt, so wird es zwar langsamer magnetisch, behält aber den Magnetismus auf längere oder kürzere Zeit. Rothglühhitze zerstört die Polarität. Auch die Verbindungen des Eisens mit Phosphor, Schwefel, Sauerstoff nehmen eine Vertheilung des Magnetismus an, und behalten sie, so daß sie wie Magnete wirken; sie müssen dabei jedoch nicht mit der größten Menge, welche sie von diesen Stoffen aufzunehmen im Stande sind, verbunden sein, denn im letztern Falle verlieren sie sogar alle magnetische Empfindlichkeit.

In trockner Luft verändert sich das Eisen bei gewöhnlicher Temperatur nicht, in feuchter dagegen oxydirt es sich sehr bald und bedeckt sich mit einer Schicht von Eisenoxyd — es rostet; es oxydirt gleichfalls in lufthaltigem Wasser, in luftfreiem bleibt es unverändert. Das Rosten findet immer statt bei Gegenwart von Feuchtigkeit, Kohlensäure und Sauerstoff; es bildet sich kohlensaures Eisenoxydul, und indem sich dieses unter Absorption neuer Mengen Sauerstoff in Eisenoxydhydrat verwandelt, wird Kohlensäure frei, welche die Bildung einer neuen Quantität von Oxyd veranlaßt. Da beim Rosten des Eisens Wasserzersetzung stattfindet, so wird Wasserstoffgas frei, welches sich, wenn es (im Wasser) mit Stickstoff in statu nascenti in Berührung kommt, mit diesem zu Ammoniak verbindet, das vom Eisenoxyd zurückgehalten wird. Das Eisenoxyd bildet mit dem Eisen die Pole einer galvanischen Säule, welche stark genug ist, Wasser zu zersetzen. Manche Chemiker erklären den Ammoniakgehalt des Eisenrostes aus dem, in der Luft sich findenden Ammoniak, indem dieses vom Eisenoxyd absorbirt und gebunden wird. Setzt

man zu dem Wasser eine geringe Menge Kalk oder Kali, auch kohlensaure Alkalien, so daß die Kohlensäure gebunden wird, oder bedeckt man das Eisen mit einer dünnen Oelschicht, so findet durchaus keine Einwirkung auf das Eisen statt. Man schützt das Eisen auch dadurch vor dem Rosten, daß man es mit einer dünnen Schicht von Zink überzieht, wodurch es weniger elektropositiv wird; das so verzinkte Metall hat man galvanisirtes Eisen genannt. In der Rothglühhitze oxydirt sich das Eisen sehr rasch und bedeckt sich mit einer schwarzen Oxydrinde, dem sogenannten Hammerschlag oder Glühspan, einer Verbindung aus Eisenoxydul und Eisenoxyd; in der Weißglühhitze verbrennt es unter Umhersprühen leuchtender Funken. Beim Schlagen sehr harten Eisens gegen einen Feuerstein werden die sich loslösenden Eisentheilchen durch die heftige Reibung glühend und verbrennen zu Eisenoxyduloxyd.

Das Eisen ist ein schlechterer Leiter für Elektricität, als die andern Metalle, besitzt aber ein größeres Wärmestrahlungsvermögen als Gold, Silber, Kupfer und Zinn, ein geringeres als Quecksilber und Blei.

Das Eisen verbindet sich mit den meisten Nichtmetallen oft unter beträchtlicher Licht- und Wärmeentwickelung.

Mit Sauerstoff verbindet es sich zu Eisenoxydul, Eisenoxyd, Eisenoxyduloxyd und Eisensäure. Das Eisenoxydul besteht aus gleichen Aequivalenten Eisen und Sauerstoff, Fe O. Rein ist es wenig bekannt, da seine Darstellung bis jetzt nicht gelungen ist, wohl aber kennt man es in seinen Verbindungen mit Wasser und Säuren. Das Hydrat ist weiß, oxydirt sich aber sehr rasch und wird grün; die Eisenoxydulsalze sind entweder farblos, wie das kohlensaure Eisenoxydul, oder grün gefärbt, wie das schwefelsaure Salz (Eisenvitriol). In der Natur kommt es an Säuren gebunden häufig vor. Die wichtigsten Salze sind das kohlensaure und schwefelsaure Eisenoxydul. Das natürliche kohlensaure Eisenoxydul, der Spatheisenstein krystallisirt in Rhomboëdern und ist ein vorzügliches Eisenerz. Künstlich erhält man es, beim Luftabschluß als weißes Pulver, das sich an der Luft schnell und vollständig in Eisenoxydhydrat umwandelt. Es ist in kohlensaurem Wasser sehr löslich, zumal wenn überflüssige Kohlensäure unter erhöhtem Drucke in das Wasser gepreßt wird, die natürlichen Eisenwässer, Stahlwässer, sind Lösungen dieser Art; an der Luft verlieren sie Kohlensäure, absorbiren Sauerstoff und setzen dann Eisenoxydhydrat ab. Schwefelsaures Eisenoxydul, Eisenvitriol, wird beim Färben und in der Gerberei gewöhnlich unter dem Namen grüner Vitriol, Kupferwasser häufig angewendet. Man gewinnt das Salz im Großen durch Oxydation des Schwefelkieses an der Luft. Es krystallisirt mit 7 Aequivalent Wasser in hell bläulichgrünen monoklinischen, vielfach combinirten Formen, zerfällt an trockner Luft zu einem weißen Pulver von wasserfreiem Eisenoxydul. Beim Erhitzen verliert es zunächst sein Wasser, in der Rothglühhitze zersetzt es sich aber in Schwefelsäure, schweflige Säure und Eisenoxyd. Es löst sich leicht in kaltem, noch leichter in heißem Wasser. Eisenoxyd, eine Verbindung von 2 Aequivalenten Eisen mit 3 Aequ. Sauerstoff, — $Fe_2 O_3$, findet sich natürlich als fast reines Oxyd in sehr glänzenden, beinahe schwarzen Rhomboëdern — Eisenglanz, in strahlig oder fasrig krystallinischen und dichten Massen von braunrother Farbe — Rotheisenstein (Blutstein), im amorphen Zustande als gewisse

Ockerarten, oft mit Thon und dergleichen gemengt; es bildet einen Bestandtheil der Thoneisensteine, des Magneteisensteins, der Sumpferze und vieler Silikate. Künstlich kann es auf verschiedene Weise, auf nassem und trocknem Wege dargestellt werden; seine Farbe variirt je nach der Darstellung in den verschiedenen Nüancen von roth bis braunroth, fast schwarzbraun, deren einige als Farben angewendet werden. Das Eisenoxyd ist geschmacklos, unlöslich in Wasser, nach dem Glühen auch schwer löslich in Säuren und ist nicht magnetisch. Mit Wasser verbindet es sich zu Hydrat, mit Säuren zu Eisenoxydsalzen, die gewöhnlich farblos sind und meist nicht krystallisiren. Als Hydrat kommt es in der Natur häufig vor als Brauneisenstein, gelber Ocker &c. Das krystallisirte Eisenoxyd ist so hart, daß es am Stahl Funken giebt und dient geschliffen zum Poliren von Silber, Gold &c. Ein schönes Polirpulver wird nach Faraday erhalten, wenn ein Theil gerösteter Eisenvitriol mit 2 bis 3 Theilen Kochsalz innig gemengt und nachher geglüht wird; das gebildete schwefelsaure Natron wird in Wasser aufgelöst, das Oxyd bleibt in feinen dunkelbraunen Schuppen zurück. In der Glasmalerei ist das Eisenoxyd zur Erzeugung von Roth (röthlichgelb) wichtig. In der Medicin findet es nur beschränkte Anwendung, ist aber ein gutes Gegenmittel bei Arsenvergiftungen. Eisenoxydoxydul, Eisenmohr &c. bezeichnet mehrere Verbindungen von Eisenoxydul mit Eisenoxyd. Die natürlich vorkommende Verbindung, der Magneteisenstein, ist aus gleichen Aequivalenten Oxyd und Oxydul ($Fe\,O + Fe_2\,O_3 = Fe_3\,O_4$) zusammengesetzt, ist von eisenschwarzer Farbe und 5,4 specif. Gewicht, krystallisirt in Octaëdern, und kann auch künstlich erhalten werden. Verbindungen in andern Verhältnissen bilden sich beim Roth- und Weißglühen des Eisens, sie werden alle vom Magnet angezogen. Die Eisenoxydoxydulsalze sind wenig untersucht, wohl aber kennt man ein Hydrat. Die Eisensäure, von Fremy entdeckt, ist im isolirten Zustande nicht bekannt, sie enthält auf ein Aequivalent bis an drei Aequ. Sauerstoff, $Fe\,O_3$, giebt eine schöne amethystfarbene, sehr leicht zersetzbare Lösung; das Kalisalz ist ein schwarzes Pulver.

Mit Chlor verbindet sich Eisen in zwei Verhältnissen, zu Eisenchlorür und Eisenchlorid, welche dem Oxydul und Oxyd entsprechen. Eisenchlorür, $Fe\,Cl$, bildet im wasserfreien Zustande weiße atlasglänzende Blättchen, die sich in Wasser mit grüner Farbe lösen; im unreinen Zustande ist es eine feste graue Masse von blättrigem Gefüge. Es schmilzt in der Rothglühhitze und verflüchtigt sich beim Ausschlusse von Luft und Wasser nur in starker Glühhitze. Mit 4 Aequ. Wasser bildet es ein in blaßgrünen geraden rhombischen Säulen krystallisirendes Hydrat, $Fe\,Cl + 4\,HO$, das an der Luft zerfließt und sich zersetzt. Eisenchlorür ist in Alkohol löslich. Eisenchlorid, $Fe_2\,Cl_3$, erhält man in braunen, metallisch glänzenden Tafeln und Blättchen, welche zum Theil regenbogenfarbig angelaufen sind; ist von herbem, zusammenziehendem Geschmack und unter theilweiser Zersetzung bei einer Temperatur etwas über dem Siedepunkte des Wassers flüchtig. An der Luft zerfließt es schnell. Mit Wasser bildet es krystallisirte Hydrate, von orangegelber oder dunkelroth-gelber Farbe. Ein Gemenge von Eisenchlorid mit Salmiak, der sogenannte Eisensalmiak, ist medicinisch, ebenso die Lösungen von Eisenchlorid in Alkohol und Aether, auch die in Wasser. Eisenjodür, $Fe\,J$, ist eine braune in Wasser lösliche, zerfließliche Masse, die mit 4 Aequ. Wasser grüne Krystalle giebt ($Fe\,J,\ 4\,HO$).

Die Verbindungen des Eisens mit Cyan sind den Sauerstoff- und Chlor-

verbindungen analog; Eisencyanür enthält gleiche Aequ. Eisen und Cyan, Eisencyanid auf 2 Aequ. Eisen 3 Aequ. Cyan. Diese beiden im isolirten Zustande wenig bekannten Körper geben theils in Verbindung mit einander, theils mit andern Cyanmetallen interessante und für die Industrie wichtige Producte. Mit Cyankalium bildet Eisencyanür das Kaliumeisencyanür (blausaures Kali, Ferrocyankalium, Blutlaugensalz), ein in gelben, gut ausgebildeten quadratischen Tafeln krystallisirendes Salz, das 12,79 Proc. Wasser enthält ($2\ K\ Cy + Fe\ Cy + 3\ HO$). Es ist in Wasser leicht löslich und wird beim Glühen unter Entbindung von Stickgas in Cyankalium und Kohleneisen $Fe\ C_2$ zersetzt. Wegen seiner vielfachen Anwendung, namentlich in der Färberei rc. wird es im Großen dargestellt durch Zusammenschmelzen von thierischer Kohle mit kohlensaurem Kali, keineswegs ist es aber bis jetzt gelungen, den atmosphärischen Stickstoff zur Gewinnung dieses Salzes im Großen zu benutzen. Kaliumeisencyanid, (rothes Blutlaugensalz) zusammengesetzt aus 3 Aequ. Cyankalium und 1 Aequ. Eisencyanid, bildet schön rothe Krystalle, wird ebenfalls im Großen dargestellt, findet aber beschränktere Anwendung. Die bekannteste Verbindung von Eisencyanür mit Eisencyanid, Eisencyanürcyanid, ist das Berliner Blau oder Pariser Blau, eine schön dunkelblaue Masse, welche als Malerfarbe und zum Tapeten- und Kattundruck rc. angewendet wird. Es ist meist mit etwas Thonerde rc. vermischt, bildet hart zusammenhängende, leicht zerreibliche Stücke, ist im Bruch kupferroth, unauflöslich in Wasser und verdünnten Säuren, sehr löslich in Kleesäure mit schön blauer Farbe. Seine Zusammensetzung ist $3\ Fe\ Cy + 2\ Fe_2\ Cy_3$.

Mit Schwefel verbindet sich Eisen sehr begierig und in mehreren Verhältnissen. Einfach Schwefeleisen, $Fe\ S$, Eisensulfurat, entsteht durch directe Verbindung von Eisen mit Schwefel, indem man weißglühendes Eisen mit Schwefel zusammenbringt oder Eisenfeile mit Schwefel erhitzt rc., ist von bronzegelber bis fast schwarzer Farbe. In feuchter Luft oxydirt sichs leicht zu schwefelsaurem Eisenoxydul, noch leichter aber, wenn es auf nassem Wege als schwarzes Pulver erhalten worden ist. Die Oxydation des Schwefeleisens findet unter bedeutender Temperaturerhöhung statt*), Schwefel und Eisen wirken in Gegenwart von Wasser schon bei gewöhnlicher Temperatur auf einander ein, wobei Wasser zersetzt und Schwefeleisen gebildet wird. Ist die Masse eines Gemenges dieser beiden Körper, die mit Wasser stark befeuchtet ist, beträchtlich, so wird sie durch Erhitzung oft glühend aus dem Gefäße geschleudert (Lémery's künstlicher Vulkan). Das natürliche

*) Berzelius bemerkt: Diese Verbindung kommt im Mineralreiche selten vor; in diesem Falle ist ihre Anwesenheit in Gruben gefährlich, weil sie sich bei der Einwirkung der Luft und der Feuchtigkeit in schwefelsaures Eisenoxydul zu verwandeln pflegt, wobei die Temperatur oft bis zum Entzünden steigt. In den englischen Steinkohlengruben z. B. ist es bisweilen geschehen, daß große zusammengelegte Vorräthe von Steinkohlen, welche dieses Schwefeleisen enthielten, nach einem starken Regen sich entzündet haben und verbrannt sind. In Kilkerran in Ayrshire gerieth aus dieser Ursache vor mehr als 70 Jahren eine große Kohlengrube in Brand. In Johnstown nahe bei Paisley entzündete sich ein sehr mächtiges Steinkohlenflötz. — Mitscherlich, Gmelin rc. schreiben diese Entzündungen nicht dem Einfach Schwefeleisen, — das in der Natur bloß in Verbindung mit andern Schwefelmetallen vorkommt, zu, sondern fein vertheiltem Zweifach Schwefeleisen, dem Wasserkies, in welchem Zustande es sich begierig mit dem Sauerstoff der Luft verbindet.

Schwefeleisen erhitzt sich mit Wasser nicht und zersetzt es nicht, deshalb kann das angegebene Phänomen zur Erklärung vulkanischer Erscheinungen nicht benutzt werden. Anderthalb Schwefeleisen, Eisensesquisulfurat, ist die dem Eisenoxyde entsprechende Schwefelverbindung $Fe_2 S_3$, ein schwarzes, sehr wenig beständiges Pulver. Zweifach Schwefeleisen, Eisenbisulfurat, aus 1 Aequ. Eisen und 2 Aequ. Schwefel zusammengesetzt, $Fe S_2$, kommt in der Natur sehr häufig als Schwefelkies vor, in stark metallglänzenden Krystallen, gewöhnlich von der Form des Würfels, Oktaëders, Pentagondodekaëders oder deren Combinationen. Von derselben Zusammensetzung ist der Wasserkies, (Strahlkies), welcher in Formen des rhombischen Systems krystallisirt ist. Künstlich dargestellt ist es ein dunkelgelbliches, metallisch-glänzendes Pulver. Beim Erhitzen giebt diese Verbindung Schwefel ab und läßt einen Körper zurück, der 68 Th. Schwefel auf 100 Th. Eisen enthält, auch in der Natur vorkommt und unter dem Namen Magnetkies bekannt ist. Derselbe ist wahrscheinlich eine bestimmte Verbindung von Zweifach Schwefeleisen mit Einfach Schwefeleisen ($Fe S_2 + 6 Fe S$). Er ist magnetisch.

Mit Phosphor verbindet sich Eisen zu einer harten, spröden grauen Masse, die sich in jedem Verhältniß in Eisen löst und Roheisen leichter schmelzbar, Stabeisen rothbrüchig macht. Arsenik und Eisen verbinden sich in zahlreichen Verhältnissen; in der Natur kommt die Verbindung $Fe_2 As_3$ vor, Arsenikalkies, und $Fe As_2$ verbunden mit Schwefeleisen — Arsenikkies (Mistpickel) $Fe S + Fe_2 As_2$.

Mit Kohlenstoff verbindet sich Eisen in veränderlichen Verhältnissen; Roheisen, Stabeisen, Stahl sind Verbindungen von Eisen mit größerer oder geringerer, aber nicht stöchiometrisch bestimmter Menge Kohlenstoff. Man kennt nur eine fest bestimmte Verbindung dieser beiden Elemente, welche man durch Glühen des Blutlaugensalzes neben Cyankalium erhält; sie besteht aus 1 Aequ. Eisen und 2 Aequ. Kohlenstoff $Fe C_2$ und bildet ein schwarzes Pulver. Schmelzendes Eisen löst Kohlenstoff auf, scheidet aber beim Erkalten den größern Theil in graphitähnlichen Blättchen wieder aus.

Gewinnung des Eisens. Die Mineralien, aus welchen das Eisen mit Vortheil dargestellt werden kann und die zur Eisengewinnung angewendet werden, sind die Eisenerze. Nur die Oxyde des Metalls und das kohlensaure Eisenoxydul geben gute Eisensorten; denn da Vermischung mit Schwefel, Phosphor rc. das Eisen verschlechtert, so können Schwefelkies, phosphorsaures Oxyd rc. enthaltende Massen nicht benutzt werden. Die wichtigsten Erze sind folgende: 1) Magneteisenstein. Er bildet im Urgebirge, namentlich im Gneus, oft mächtige Lager und ist das Material, aus welchem in Schweden das beste Eisen gewonnen wird. 2) Rotheisenstein, Eisenglanz; ersteres ist Eisenoxyd in derben Massen und findet sich im ältern Gebirge in Gängen und mächtigen Lagern, letzterer ist krystallisirtes Eisenoxyd und kommt nicht häufig in großer Menge vor. In vielen norddeutschen Gegenden wird vorzüglich Rotheisenstein verschmolzen. 3) Spatheisenstein. Dies Erz kommt häufig mit kohlensaurem Manganoxydul verbunden auf Gängen im alten und Uebergangsgebirge vor, und liefert beim Verschmelzen mit Holzkohle ein Eisen, das zur Stahlfabrikation sehr geeignet ist. 4) Brauneisenstein ist Eisenoxydhydrat, das meist durch Zer-

setzung des kohlensauren Eisenoxyduls entstanden ist, enthält oft viel fremde Substanzen. 5) Bohnerz, Linsenerz, besteht wesentlich aus Eisenoxydul, Kieselsäure und etwas Wasser, kommt in Körnern von verschiedener Größe in Schichten der Jura- und Tertiärformation vor. 6) Thoneisenstein, thoniger Sphärosiderit, findet sich in den Thonlagern der Steinkohlenformation in abgeplatteten oder rundlichen Nieren, oft, besonders in England in großen Massen, und ist wesentlich kohlensaures Eisenoxydul und Eisenoxydhydrat, das mehr oder weniger mit Thon verbunden ist. 7) Raseneisenerz, Wiesenerz, Sumpferz, findet sich auf Lagern im aufgeschwemmten Lande in Gestalt derber, löchriger, gelber oder bräunlicher Massen, und ist Eisenoxydhydrat, welches durch mehrere fremde Substanzen, namentlich durch phosphorsaures Eisenoxyd verunreinigt ist. Das Erz hat nur geringen Werth.

Die Erze werden, wenn sie Schwefel, Kohlensäure und Wasser enthalten, zur Befreiung von diesen Substanzen geröstet, hierauf zerkleinert und in bestimmten, durch die Erfahrung festgestellten Verhältnissen, welche sich nach dem Eisengehalte, aber auch nach der Beschaffenheit der übrigen Bestandtheile richten, gemengt, also reichere Erze mit ärmern ꝛc. Selten jedoch sind die Erze so zusammengesetzt, daß sie ohne weitere Zuschläge verschmolzen werden können; da nothwendig das reducirte Eisen und die beigemengten Substanzen vollständig in Fluß kommen müssen, um sich nach ihrer Dichtigkeit scheiden zu können, so setzt man, wenn die Gangart des Erzes für sich nicht schmelzbar ist, entweder Kalk oder Quarz, je nach der Natur der Gangart zu, um leicht schmelzbare Massen, Schlacken, zu bekommen. Am häufigsten ist die Gangart Quarz oder Thon, welche Körper bei der Temperatur des schmelzenden Eisens noch nicht schmelzbar sind, mit Kalk aber leicht flüssigere Verbindungen bilden; man fügt daher so viel Kalkstein oder besser gebrannten Kalk zu, als nöthig ist, umgekehrt aber, wenn die Kieselsäure in zu geringem Verhältniß vorhanden, Quarz, um Silikate von der erforderlichen Schmelzbarkeit zu erhalten. Ohne diese Zuschläge findet erheblicher Verlust an Eisen statt; die Kieselsäure verbindet sich, wenn sie nicht hinreichende Basis vorfindet, mit Eisenoxydul zu einem leichtflüssigen Silikate, ebenso der Thon (kieselsaure Thonerde), woraus aber, weil die Kohle damit nicht so innig in Berührung kommen kann, das Eisen viel schwerer reducirt wird. Die Mischung verschiedener Erze heißt die Gattirung; die mit Zuschlägen vermengte Gattirung die Beschickung, welche nicht über 50 Proc. Eisen enthalten darf.

Die Reduction der Eisenerze mittelst Kohle oder Coaks und das Ausschmelzen geschieht im Hochofen. Der Hochofen ist ein Schachtofen, von der Form zweier abgestumpfter Kegel, die mit ihrer Basis verbunden sind und von 20 bis 50 Fuß Höhe. Der obere abgestumpfte Kegel bildet den Schacht, dessen obere Oeffnung, zur Einfüllung des Erzes und Brennmaterials, die Gicht heißt; der untere Kegel bildet die Rast. Unter der Rast befindet sich noch ein prismatischer Raum, das Gestell, dessen Wände nur sehr wenig geneigt sind und außer der Vorderwand bis auf den Boden des Ofens hinabgehen; die Vorderwand dagegen reicht nur bis einige Fuß über den Boden. Der unterste Raum (der Heerd) des Gestells ist nach vorn zu verlängert (Vorheerd) und durch den Wallstein oder Dammstein verschlossen; der Wallstein ist aber an der einen Seite von der Wand abstehend und bildet eine Spalte, die sogenannte Abstichöffnung, welche zum Ablassen des geschmolzenen Eisens dient und während der Schmelzung verstopft ist. In den

zwei Seitenwänden des Gestells, bisweilen auch noch in der Hinterwand, befinden sich die in gleicher Horizontalebene liegenden Oeffnungen für die Formen, — halbcylindrische oder cylindrische nach außen hin trichterförmig erweiterte Röhren, von Gußeisen oder Kupfer, in welche die Enden der Windleitungsröhren, die Düsen, welche den Hochofen mit Luft versorgen, eintreten. Die Formen liegen einige Zoll höher, als der Wallstein. Die Luft wird durch ein Gebläse in den Ofen getrieben. Man wendet jetzt allgemein Cylindergebläse an; aus demselben geht die Luft durch Windleitungen, welche mit verschiedenen Vorrichtungen versehen sind, um die Quantität Luft, welche ausströmen soll zu bestimmen; das Ende der Windleiter ist durch einen ledernen Schlauch oder durch Gelenke beweglich gemacht, um der Düse verschiedene Stellungen geben zu können.

Der Ofen wird vor dem Beginn der Schmelzung gehörig angewärmt, indem man auf dem Boden desselben Reißholz anzündet, darauf zur Schmelzung anzuwendendes Brennmaterial schüttet, und nach und nach den ganzen Ofen damit anfüllt. Das Gebläse wird nun in Bewegung gesetzt, anfangs giebt man schwachen Wind, verstärkt aber allmälig die Lufteinströmung; ist der Brennstoff gehörig niedergegangen, so schüttet man Erz auf und trägt nun schichtenweise in entsprechendem Verhältniß Kohle und beschicktes Erz ein. In dem Maße, als die Kohlen verbrennen, senken sich die Massen im Ofen; gelangen die Erze in die Gegend der Formen, wo die Hitze am stärksten ist, so schmilzt die Kieselsäure mit den vorhandenen Erden und Oxyden zur Schlacke zusammen, indeß das, schon in den höher liegenden Theilen des Ofens reducirte, Eisen sich mit dem Kohlenstoff vereinigt und schmilzt. Das geschmolzene Eisen sammelt sich auf dem Boden des Gestells an, auf demselben schwimmen die Schlacken, welche man über dem Wallsteine abfließen läßt, oder da sie in dem vordern Theile des Gestells schon zähe werden, mit Haken herauszieht. Das Eisen wird entweder aus dem Heerde geschöpft, oder man läßt es, indem man die verstopfte Abstichöffnung frei macht, in Rinnen (Flaschen oder Gängen) in die bestimmten Formen abfließen. Häufig wird es jedoch nothwendig, namentlich wenn die zu gießenden Gegenstände mehr Eisen bedürfen, als der Hochofen auf einmal liefern kann, daß man das Eisen umschmilzt, und es geschieht dies dann in besonders dazu geeigneten Oefen.

Der Prozeß, welcher im Ofen vorgeht, ist folgender. Die durch die Düsen eintretende Luft trifft auf die glühenden Kohlen, welche in dem reichlich anwesenden Sauerstoffgase lebhaft und unter Entwickelung großer Hitze zu Kohlensäure verbrennen. Aus dem Gestell gelangen also Stickgas und Kohlensäure in die Rast; indem nun letztere mit glühender Kohle wieder in Berührung kommt, nimmt sie die Kohle auf und bildet Kohlenoxydgas; das in der eingeblasenen Luft enthaltene Wassergas wird gleichfalls sofort zersetzt und bildet Kohlenoxydgas und Wasserstoffgas. Außer diesen Gasen bildet sich noch Cyanwasserstoffsäure und Ammoniak (Bunsen). Die glühende Gassäule steigt im Ofen in die Höhe und besteht über die Mitte der Rast hinaus nur aus reducirenden Gasen, Kohlenoxyd, Wasserstoff ꝛc, welche, indem sie auf rothglühende Eisenoxydtheilchen treffen, diese zu metallischen Eisen reduciren und endlich durch die Gicht, nachdem sie ihre Wärme größtentheils abgegeben haben, entweichen (Gichtgase). Die Erzmassen senken sich allmälig und gelangen zuletzt in die Gegend der Formen, wo das reducirte Eisen und die Schlacken schmelzen, und sich dann nach ihrer Dichte trennen. Die Erze werden im obersten Theile des Schachtes zunächst getrocknet, sinken sie tiefer,

geröstet; z. B. im mittleren Theile beginnt die Reduction, und wird im untern Theile des Schachtes beendet. In der Rast verbindet sich bei der hohen Temperatur der Kalk mit der Gangart des Erzes und mit der Asche des Brennmaterials zu Doppelsilikaten, das metallische Eisen aber mit Kohlenstoff zu Roheisen; die Schmelzung beginnt, so wie diese Substanzen in das Gestell eintreten. — Unter den Gasen ist die Blausäure, welche sich in großer Menge zu bilden scheint, von Wichtigkeit, indem sie sich mit den, im Brennmaterial und in den Schlacken enthaltenen, Alkalien und Erden zu Cyanmetallen vereinigt, die nun bei der Reduction wesentlich mitwirken. Die Gichtgase können, weil sie viel brennbare Gase, Kohlenoxydgas, Kohlenwasserstoffgas oder Leuchtgas 2c. enthalten, weiter zur Beleuchtung oder auch zur Heizung von Dampfkesseln benutzt werden; im Allgemeinen nimmt man an, daß von 100 Th. Brennmaterial nur 17 Theile in dem Hochofen zur Wirkung gelangen, während 83 Th. durch die Gicht in Form von Gasen entweichen. In vielen Hochöfen, namentlich in England, hat man durch Anwendung erhitzter Luft (100° bis 200°) großen Vortheil gezogen, indem man in derselben Zeit mehr und besseres Eisen gewann und bedeutendes Brennmaterial ersparte; mit Hülfe derselben erreicht man höhere Temperatur und rascheres Verbrennen der Kohle. Das gewonnene Eisen ist Roheisen oder Gußeisen; dasselbe enthält viel Kohlenstoff, theils chemisch gebunden, theils mechanisch in der ganzen Masse vertheilt, außerdem mehr oder weniger bedeutende Mengen von Silicium, Schwefel, Phosphor, Aluminium u. a., die, je nachdem das eine oder das andere Element oder mehrere derselben in irgendwie beträchtlichem Verhältniß vorhanden sind, seine physikalischen Eigenschaften wesentlich verändern. Der Kohlenstoff macht es leicht flüssig und ist ein wesentlicher Bestandtheil desselben; von der Art und Weise, in welcher er in dem Eisen vorkommt, hängt vorzüglich Farbe und Härte des Eisens ab. Weißes Roheisen, das sich durch seine weiße Farbe und Glanz auszeichnet, erhält man, wenn das flüssige Eisen rasch erkaltet, wobei der Kohlenstoff chemisch gebunden bleibt; es ist spröde und so hart, daß es von keiner Feile angegriffen wird, sein specif. Gew. ist 7,6. Bisweilen erhält man dasselbe von besonders spiegelndem Glanze und heißt dann Spiegeleisen; es enthält 5,3 Theile Kohlenstoff und nähert sich in seiner Zusammensetzung der Formel $Fe C_4$. Läßt man das geschmolzene Eisen langsam erkalten, so erhält man graues oder weiches Roheisen; die Kohle scheidet sich in graphitähnlichen Blättchen aus und ertheilt, weil sie in der Masse fein vertheilt ist, demselben ein dunkelgraues Ansehen; es besitzt einige Geschmeidigkeit und läßt sich feilen. Bisweilen erfolgt die Abscheidung der Kohle nicht durch die ganze Masse, sondern nur an einzelnen Stellen, wodurch es das Ansehen eines weißen, mehr oder weniger grau gefleckten Roheisens erhält, und worin also beide Eisenarten zugleich vorkommen; man nennt dieses halbirtes Roheisen.

Verwandlung des Roheisens in Stabeisen. Das Frischen. Der Zweck des Frischens ist, das Roheisen von dem größten Theile der Kohle und anderer schädlicher Substanzen zu befreien. Roheisen, das viel Schwefel und Phosphor enthält, ist nur schwer von diesen vollkommen zu trennen und giebt immer Stabeisen von geringerer Güte. Es giebt zwei Methoden zu frischen: 1) mit Holzkohle, im Frischheerde, — Heerdfrischung oder der deutsche Frischprozeß; 2) mit Steinkohle, im Puddelofen, — Puddlingsprozeß oder englischer Frischprozeß.

Beide Methoden beruhen auf denselben Principien. Das Roheisen wird, wenn man es an der Luft erhitzt, an der Oberfläche mit Eisenoxyd überzogen; das Oxyd wirkt auf das Kohle und Silicium enthaltende Eisen, die Kohle verbindet sich mit dem Sauerstoff des Oxyds zu Kohlenoxydgas, Silicium aber zu Kieselsäure, die sich mit dem Eisenoxydul zu kieselsaurem Eisenoxydul verbindet; dieses kann als Schlacke, da es leicht schmelzbar ist, entfernt werden. Das Roheisen ist, weil es im Sande erkaltet, mit Sand (Kieselsäure) bedeckt, und dieser liefert daher gleichfalls Kieselsäure zur Bildung des Silikats. Das Silikat ist, wenn es mit überschüssigem Eisenoxyd in Berührung kommt, basisch und wirkt daher bei höherer Temperatur wie das Eisenoxyd, indem sich Eisen reducirt, dies Salz aber in ein einfach kieselsaures Salz ($3\ Fe\ O$, $Si\ O_3$) verwandelt, welches nicht entkohlend wirkt. Die Oxydation der Kohle u. a. wird auch durch eingeblasene Luft bewirkt. — Nach der ersten Methode wird Roheisen auf einem Herde mit Kohlen bedeckt, die entzündet und gleichzeitig mit dem Eisen der Einwirkung eines starken Gebläses ausgesetzt werden. Es erfolgen nun die genannten Reductionsprozesse durch die Luft, durch Eisenoxyd und basisch kieselsaures Eisenoxydul; Kohle, Silicium, Phosphor ꝛc. des Eisens verbrennen zum größten Theil und gehen in die Schlacke. Die Schlacke wird von Zeit zu Zeit abgelassen, und enthält sie noch viel basisches Silikat, mit Eisenoxydoxydul (Hammerschlag) gemengt zur nächsten Schmelzung verwendet. Nach beendigter Operation nimmt man die gefrischte Eisenmasse (der Deul oder die Luppe) aus dem Feuer und bearbeitet sie noch glühend mit schweren Hämmern, durch deren Schläge die Schlackentheilchen ausgepreßt werden. Die Eisenmasse wird nun in Stücke zerhauen und zu Stäben ausgeschmiedet. — In manchen Ländern, besonders in England, wird wegen zu hohen Preises der Holzkohle, die billigere Steinkohle zum Frischen angewendet, welche aber wegen ihres Schwefelgehaltes mit dem Eisen nicht in Berührung kommen darf. Man frischt dieses daher, nachdem es durch eine vorhergehende Behandlung in einem dem erwähnten Frischherde ähnlichen Ofen vom größten Theile seines Siliciums, Phosphors und Schwefels befreit ist, in den sogenannten Puddlingsöfen. Dies sind Flammenöfen, gewöhnlich mit zwei Heerden, wovon der kleinere zum Erwärmen des Eisens dient, der größere aber zum Entkohlen; derselbe besteht aus einem viereckigen eisernen Kasten, in welchen durch einen Rost fortwährend Luft einströmt. Man bringt darein zunächst eine Decke von eisenoxydreichen Schlacken, zu denen man Hammerschlag gesetzt hat, erhitzt nun den Heerd, bis diese oberflächlich weich geworden sind und bringt darauf das im kleinern Heerde erwärmte Eisen; dies erhitzt man nun bis zum Erweichen, breitet es dann über der Heerdsohle aus und rührt es um. Kohlenoxydgas entwickelt sich und verbrennt in kleinen blauen Flämmchen. Je mehr nun von der Kohle des Eisens oxydirt worden ist, desto mehr nimmt die breiige Consistenz des Eisens ab und wird zäher. Nach beendigtem Puddeln wird das Eisen zu Bällen vereinigt und unter dem Hammer von den Schlacken befreit.

Das nach beiden Methoden erhaltene Stabeisen (Schmiedeeisen) enthält noch bis $^1/_2$ Proc. Kohlenstoff, außerdem noch sehr geringe Mengen von Silicium, Mangan, zuweilen auch Schwefel, Phosphor, Arsen; es ist von halbgrauer Farbe, zeigt einen körnigen oder zackigen Bruch, sehnig-fasriges Gefüge, und hat 7,7 — 7,9 specifisches Gewicht. Es schmilzt weit schwerer als Guß- oder Roheisen. Ein Gehalt von Schwefel, Arsen oder Kupfer macht es rothbrüchig,

d. h. es zerbröckelt, wenn es rothglühend gehämmert wird, Phosphor macht es kaltbrüchig, d. h. es läßt sich in der Hitze wohl bearbeiten, bricht aber, sobald es nach dem Abkühlen gebogen wird. Enthält es verhältnißmäßig viel Silicium, so wird es faulbrüchig, hart und mürbe. Das Stabeisen ist durch seine Verbindung mit Kohlenstoff zu den mannichfachen Anwendungen geeigneter, als reines Eisen, vorzüglich seiner größern Härte wegen; es läßt sich auch zu Blechen auswalzen und zu dünnen Drähten ausziehen. Sein faseriges Gefüge, mit welchem seine Zähigkeit correspondirt, ändert sich, wie vielfache Erfahrungen an Dampfwagenaren und Pfeilern von Kettenbrücken gezeigt haben, in ein körniges krystallinisches Gefüge um, wenn es lange Zeit oft sich wiederholenden Erschütterungen ausgesetzt war, und verliert dadurch seine Zähigkeit; es zerreißt oder bricht bei viel geringerer Last, als es früher tragen konnte. Die Torsion scheint vorzüglich diese Molekülaränderung zu bewirken. Dem Eisen, das auf diese Weise umgewandelt ist, kann man bis jetzt auf keine andere Weise das faserige Gefüge wiedergeben, — als durch Umschmelzen und Frischen.

Stahl. Stahlfabrikation. Der Stahl ist Eisen, verbunden mit einer gewissen Menge Kohlenstoff, und steht in seinem Kohlenstoffgehalt zwischen Stabeisen und Roheisen. Es wird auf zweierlei Weise dargestellt, entweder durch Entkohlung sehr reinen Roheisens, oder durch Verbindung des Stabeisens mit einer gewissen Menge Kohlenstoff durch Cämentation. Der aus Roheisen dargestellte Stahl heißt Rohstahl, Frischstahl, Schmelzstahl; man wendet hierzu Roheisen an, das etwas Mangan und wenig Silicium enthält und besonders aus Spatheisenstein gewonnen wird; man behandelt dasselbe mit Kohle und Schlamm, wie wenn es gefrischt werden sollte, setzt aber die Operation nur so lange fort, bis der Kohlenstoff desselben in bestimmter Menge verbrannt ist. Nach beendigtem Frischen wird die Stahlmasse ausgestreckt und in Stäbe geformt, welche man in Stücke zerschlägt; um Stahl zu erhalten, der in seiner Masse nicht ungleich ist, legt man die Stücke in Bündel und schmiedet sie, nachdem sie weißglühend gemacht worden sind, wiederholt zusammen. Der so erhaltene Stahl ist raffinirter oder gegerbter Stahl. Um aus Stabeisen Stahl-, Cementstahl oder Brennstahl darzustellen, erhitzt man Stäbe von weichem Eisen unter einer Decke von Kohlenpulver oder von Bohr- oder Drehspänen des Gußeisens, in den luftdicht verschlossenen Cementirkästen, mehrere Tage bis zum Rothglühen; die Kohle vertheilt sich ähnlich, wie die Wärme, nach und nach in den Eisenstäben, welche nun in Stahl umgewandelt sind. Die Stäbe werden nach dem Erkalten gleichfalls in Stücke zerschlagen, und um Stahl von gleichartiger Beschaffenheit zu erhalten, — gegerbt. Vollkommene Gleichartigkeit des Stahls erhält man aber nur durch Schmelzen des raffinirten Stahls; zur Verhütung von Verlust an Kohlenstoff geschieht dies unter einer Decke von Glaspulver und Kohle. Man wendet hierzu sowohl Rohstahl als Cementstahl an; der geschmolzene Stahl heißt Gußstahl.

Durch Legirung des Stahls mit geringen Mengen Platina ($1^1/_2$ Proc.) oder Rhodium (1 — 2 Proc.) erhält man Stahl von sehr großer Härte; legirt man ihn mit $^1/_3$ Proc. Silber, so übertrifft er an Härte selbst den Wootz. Der Wootz ist eine aus Ostindien kommende berühmte Stahlart, welche durch Zusammenschmelzen des Eisens mit Pflanzentheilen, die sich verkohlen, erhalten wird; seine Güte schreibt man oft einem Gehalt an Aluminium zu, wovon jedoch bisweilen

nur Spuren aufgefunden worden sind. Der Damascener Stahl zeigt, wieder Wootz, wenn er auf der Oberfläche mit Säuren geätzt wird, verschiedenartig gefärbte Adern (die Damascirung), eine Eigenschaft, die durch Umschmelzen desselben nicht verloren geht. Man ahmt diese Damascirung nach durch Zusammenschweißen von Stahl und weichem Eisen; solcher Stahl wird häufig angewendet, da er für viele Gegenstände in der Härte genügt, und mehr Zähigkeit als reiner Stahl besitzt; die Gewehrläufe werden größtentheils daraus gearbeitet.

Der Stahl besitzt hellgraue, ins bläuliche ziehende Farbe, ist weniger zäh, aber härter und elastischer als Stabeisen, schmilzt leichter als dieses und läßt sich schwieriger in der Rothglühhitze mit dem Hammer behandeln; im Bruche ist er um so feinkörniger, je härter er ist; das specifische Gewicht ist 7,7 — 7,9. — Die Härte ist, je nachdem er nach dem Glühen schneller oder langsamer erkaltete, verschieden; sehr langsam erkaltet, ist er weich, wird er aber rothglühend in eine kalte Flüssigkeit getaucht, wird er sehr hart und spröde; darauf beruht das Härten des Stahls. Zu verschiedenen Zwecken werden verschiedene Härtegrade des Stahls erfordert; nachdem man ihn also gehärtet, erhitzt man ihn bis zu verschiedenen bestimmten Temperaturen, wodurch er die erwünschte Härte erlangt. Dies Ausglühen, Anlassen des Stahls ist von einer Farbenveränderung, dem Anlaufen begleitet, indem sich auf dem Stahl ein feines Oxydhäutchen erzeugt; da das Eintreten dieser Farben ziemlich genau bestimmten Temperaturen entspricht, dienen sie als Maßstab beim Anlassen. Bei 220° färbt sich der Stahl strohgelb (feine schneidende, chirurgische Instrumente), 240° goldgelb (Rasirmesser, andere chirurgische Instrumente), 255° braun (Meißel ꝛc. zur Bearbeitung von Eisen), 270° purpurroth (Aexte, Hobeleisen ꝛc.), 285° hellblau (Uhrfedern, Klingen), 295° indigblau (dünne Sägeblätter, Bohrer ꝛc.), 315° tief dunkelblau (Hand- und Stichsägen). Häufig dient das Anlassen nur, um dem Stahl ein schönes Ansehen zu geben, zur Verzierung und um ihn vor dem Rosten zu schützen. — Der Gehalt an Kohlenstoff ist wechselnd; bei $1^1/_2$ Proc. besitzt er die größte Härte und Festigkeit, enthält er mehr, nimmt er wohl noch an Härte zu, aber Festigkeit und Schweißbarkeit vermindern sich, so daß er bei 2 Proc. in der Hitze unter dem Hammer zerbröckelt; enthält er weniger als $1^1/_2$ Proc., so ist auch seine Härte geringer.

Legirungen des Eisens mit andern Metallen werden fast gar nicht angewendet; man macht allein von der Verbindung mit Zinn für Eisenbleche Gebrauch, um diese vor dem Rosten zu schützen und, weil sie sich so löthen lassen, leichter und vielfältiger verarbeiten zu können. Die Verzinnung der Bleche geschieht fabrikmäßig; man bringt die Bleche, welche vollkommen metallische Flächen haben müssen und daher durch geeignete Operationen zuvor von der Oxydschicht befreit werden (Eintauchen in Schwefelsäure ꝛc.), zuerst in geschmolzenen Talg, worin sie einige Zeit bleiben, hierauf nach einander in mehrere Zinnbäder, in denen sie verschiedene Zeit, in dem ersten am längsten, weilen, und dadurch fast vollständig mit Zinn legirt und zugleich mit einer dünnen Schicht von reinem Zinn bedeckt werden. Im Innern sind die Bleche zuweilen noch reines Eisen, nach der Oberfläche zu aber ist dies mit Zinn legirt. Die Oberfläche ist vollkommen glatt und glänzend; nimmt man aber die dünne Zinnschicht durch eine Säure hinweg, so wird die krystallinische Textur der Legirung sichtbar und die Bleche erhalten davon ein perlmutterglänzendes Ansehen (moiré métallique). Zur Bildung dieses Moiré bedient man sich

gewöhnlich einer Mischung aus 2 Th. Salzsäure, 1 Th. Salpetersäure und 3 Th. Wasser; das Ansehen desselben läßt sich beliebig ändern, indem man das Eisenblech so stark erhitzt, daß das Zinn schmilzt und die Oberfläche an einzelnen Stellen durch Wasser ꝛc. schnell erkaltet, oder indem man mit einem erhitzten Löthkolben einzelne Stellen schmilzt; um aber die Krystallisation glänzend zu erhalten, muß das Blech mit einem durchsichtigen Firniß überzogen werden. — In Verbindung mit Nickel kommt das Eisen im Meteoreisen vor. H. M.

Eisenbahn (Chemin de fer, Railway, Railroad) oder Schienenweg ist eine Kunststraße mit parallelen eisernen Fahrgleisen von ebener, glatter und fester Oberfläche, auf welcher die dafür construirten Fuhrwerke von gleicher Räderspurweite mit möglichst geringem Wälzungswiderstand bewegt werden können. Man bedient sich in neuerer Zeit fast ausschließlich hervorstehender Eisenschienen, da dieses Material den verlangten Bedingungen am Besten entspricht. Früher stellte man die Schienenwege auch aus parallelen Holz- oder Steinunterlagen her, wobei man die erstern zuweilen mit Blech beschlug und die Unterlagen überhaupt mit eingeschnittenen Räderspuren versah. Man nannte diese Fahrbahnen, zum Unterschied von den Eisenbahnen, Holz- und Steinbahnen.

Welchen Einfluß die Art und Beschaffenheit einer Straße auf die Widerstände hat, die bei Drehung der Räder eines Fuhrwerkes zu überwinden sind, bevor dasselbe mit nützlicher Kraft und angemessener Geschwindigkeit bewegt werden kann, welchen Einfluß folglich die Straßen auf die Leichtigkeit und Schnelligkeit der Beförderung der Lasten ausüben, geht am deutlichsten aus den classischen Versuchen hervor, die zuerst Coulomb *) und später weit ausführlicher Morin **) mit einer Reihe von Fuhrwerken auf den verschiedensten Fahrbahnen anstellte. Diese Versuche, welche durch Dupuit ***) und Piobert ****) ergänzt und berichtigt wurden, gaben folgende Hauptresultate.

Der Widerstand, den die Räder eines Fuhrwerkes bei ihrer Fortwälzung auf einer Fahrbahn zu überwinden haben, ist abhängig von der Belastung der Räder; von der Natur und Beschaffenheit (Gleichförmigkeit, Glätte, Festigkeit) der Bahn; von der Geschwindigkeit der Bewegung mit Berücksichtigung des Luftwiderstandes; von der Breite der Räder; von dem Halbmesser der Räder und dem der Axen, auf welchen sich die Räder drehen. Der aus diesen Bedingungen gefundene Widerstandscoefficient giebt das Verhältniß der, zur Fortbewegung auf horizontaler Bahn nöthigen, horizontalen Zugkraft zur Totalbelastung des Wagens an *****). Wie verschieden der Widerstand für ein und denselben Wagen unter sonst gleichen Be-

*) Coulomb, Théorie des machines simples, en égard au frottement de leurs parties. Nouv. édit. Paris 1821. 4.

**) A. Morin, Expériences sur le tirage des voitures, faites en 1837 et 1838. Bruxelles 1839. 4. — A. Morin expériences que les corps cylindriques éprouvent en roulant sur des surfaces planes et sur le tirage de voitures sur les différentes terrains. 2 édit. 2 Vol. Paris 1842. 1. — Vergleiche: Morin, Leçons de mécanique pratique. Vol. I. §. 201 sqq. Siehe auch: Redtenbacher, Resultate für den Maschinenbau 2. Aufl. §. 286.

***) Dupuit, essai et experiences sur le tirage des voitures. Paris 1837.

****) Piobert, mémoire sur le tirage de voitures. Paris 1842.

*****) Das Nähere darüber siehe in den Artikeln Reibung und Widerstand.

dingungen ist, den er auf verschiedenen Fahrstraßen zu überwinden hat, zeigt unter Andern folgende Uebersichtstabelle, welche mittlere Resultate angiebt, wie sie bereits Rumford *) annähernd gefunden hatte **).

Beschaffenheit der Bahn.	Widerstands-coefficient
1) Ungebahnter, natürlicher trockner Thonboden	0,250
2) Ungebahnter, natürlicher Kiesel- oder Kreideboden . . .	0,165
3) Gebahntes, festes und gleichmäßiges Terrain	0,040
4) Neuangelegte Straße mit Sand- oder Kiesellage	0,125
5) Fahrweg mit Steinschotter im gewöhnlichen Zustand . . .	0,080
6) Ausgezeichnet gehaltene und fest gefahrene Chaussée . .	0,033
7) Gepflasterte Straße für Wagen mit Federn im Schritt	0,030
8) Dieselbe im scharfen Trapp	0,070
9) Holzbahn aus ungehobelten Eichen-Bohlen	0,022
10) Steinbahn aus harten Steinplatten oder Eisenbahn mit eingelassenen gußeisernen Räderspuren	0,010
11) Eisenbahn mit hervorstehenden Rädergleisen oder Schienen, in gutem Zustand	0,007
12) Dieselbe, wenn die Radaxen fortwährend gut geschmiert werden	0,005

Die überraschenden Resultate dieser Tabelle zeigen am deutlichsten den Vortheil, den ein Schienenweg aus Eisen vor allen übrigen Bahnen und Straßen bietet ***). Während auf ungebahnten Wegen die Zugkraft unter Umständen $^1/_4$ der Belastung betragen kann, und auf den besten Chausséen noch immer $^1/_{33}$ in Anspruch nimmt, beträgt die Zugkraft auf der Eisenbahn, je nach der Construction und Instandhaltung, nur $^1/_{100}$ bis $^1/_{200}$ der Belastung. Der Wälzungswiderstand

*) Kaiser, Statik. (Carsruhe 1836). S. 201.

**) Delaunay, mécanique. Paris 1851. 1. Part. §. 182.

***) Etwas veränderte Angaben giebt das amerikanische: Dictionary of Machines, Mechanics, Engine-Works by Appleton. (New-York 1852) Art. Railroad. Vol. II., in folgender Weise. Die Zugkraft, welche erforderlich ist, 1 Tonne Belastung auf verschiedenen Straßen zu bewegen, ist in englischen Pfunden angegeben.

Beschaffenheit der Bahn	Zugkraft in Pfunden per 1 Tonne = 20 Ctnr. = 2240 engl. Pfd.
1) Grober Kiesweg	65 Pfund
2) Steinschotter auf Kieselunterlage	147 „
3) Chaussée, nach Mac-Adam's Methode, festgefahren und hart	46 „
4) Macadamisirte Chaussée auf Kies und Cement fundamentirt .	46 „
5) Gut gebahnter, glatter, gepflasterter Weg	33 „
Im Durchschnitt	67 „
6) Gut gehaltene Eisenbahn mit Kantenschienen	8 „

ist verschwindend klein, und nur der Reibungswiderstand an den Axen kommt hauptsächlich in Betracht. Man kann im Mittel annehmen, daß der Widerstand am Radumfange auf gemeinen Straßen sich zu jenem auf den Eisenbahnen wie 10 : 1 verhält*). Redtenbacher**) giebt an, daß jede Tonne (à 1000 Klgr.) der an eine Locomotive angehängten Last, mit Einschluß des Luftwiderstandes und bei gewöhnlicher Geschwindigkeit der Fahrt (10 bis 12 Meter per Secunde) einen Widerstand von circa 5 Klgr. verursache. Pambour***) fand durch höchst sinnreiche Versuche über die Reibung der Bahnwagen (die er durch ihre Bewegung auf zwei auf einander folgenden geneigten Ebenen bestimmte), daß dieselbe nur $\frac{1}{373}$ des Gewichtes der Wagen oder circa 6 engl. Pfund für 1 Tonne betrage****).

Aus Allem geht hervor, daß die zum Transport benutzte Zugkraft auf Eisenbahnen weit vollständiger zur Bewegung und Beschleunigung der Massen verwendet werden kann, als auf allen übrigen Kunststraßen, und daß mithin ein weit größerer Theil des Nutzeffectes als reiner Arbeitseffect betrachtet werden kann. Hierzu kommt noch, daß die Geschwindigkeit der Bewegung auf Eisenbahnen nicht dadurch beschränkt wird, daß mit derselben auch der Wälzungswiderstand in dem Verhältniß wächst, wie dies bei den übrigen Fahrbahnen mehr oder minder der Fall ist. Bei großer Schnelligkeit tritt nur der Luftwiderstand als hauptsächliches Hemmniß auf.

Zu diesen Vortheilen einer zehnfach vermehrten Zugkraft (bei zehnfach vermindertem Wälzungswiderstand) für eine ziemlich unbeschränkte Geschwindigkeitszunahme kommen noch andere Vortheile hinzu, welche die Eisenbahnen vor allen übrigen Straßen auszeichnen. Wir rechnen hierzu, daß die Eisenbahnen nicht durch Abnutzung wesentlich schlechter werden und daß sie fast bei jeder Witterung, bei jeder Tages- und Jahreszeit gleich brauchbar und fahrbar sind*****). Weil ferner der Widerstand auf der Eisenbahn ziemlich gleichmäßig und unveränderlich ist, so wird auch die Zugkraft weit gleichmäßiger in Anspruch genommen und,

---

*) Vergleiche: Prechtl, Technol. Encyklop. Bd. IV. S. 97 und Bd. V. S. 45. Ferner: Karmarsch und Heeren, Technisches Wörterbuch. Bd. I. S. 545.

**) Resultate für den Maschinenbau. 2. Aufl. 1852. S. 238.

***) Pambour, Theoretisch praktisches Handbuch über Dampfwagen. Uebers. von Schnuse. Cap. 5. S. 83 ff.

****) Dieses Resultat hat sich in der neuesten Zeit, wo die Construction der Axenbüchsen und die Anwendung der Schmiermittel eine vollkommenere geworden ist, noch weit günstiger gestaltet. Zufolge der genauern Versuche, welche der Königl. Sächs. Eisenbahndirector von Weber nach der Pambour'schen Methode in diesem Jahre auf der Chemnitz-Riesaer Eisenbahn veranstaltete, ergiebt sich, daß die Gesammtreibung eines Bahnwagens, Axenreibung und Wälzungswiderstand zusammengenommen nur $1/_{500}$ von dem Gewicht des Wagens beträgt. Dabei lagen die Axen in Bleilagern und waren mit Oel geschmiert. Für diese Anordnung waren bisher noch keine Versuche angestellt worden. Dieser Widerstandscoefficient von 0,002 gilt natürlich nur für die Reibung während der Bewegung. Für die Reibung in der Ruhe fand man $1/_{250}$ bis $1/_{300}$ der Belastung als Coefficient. Die Details der Versuche, zu deren Veröffentlichung wir durch Herrn Director v. Weber ermächtigt sind, sollen im Artikel Reibung ausführlich gegeben werden.

*****) Hiervon sind Sturm, Glatteis und Schneewehen ausgenommen, unter welchen aber jede andere Fahrbahn nicht minder zu leiden hat.

sofern man animalische Kräfte dazu verwendet werden, diese weit weniger erschöpft und abgenutzt. Auch für die Dampfmaschinen gilt der Erfahrungssatz, daß sie bei gleichförmigem Widerstande mit dem geringsten Kostenaufwand und besten Nutzeffect arbeiten *).

Die Anwendung der Dampfmaschine ist es vor Allem, welche den Eisenbahnen in der Gegenwart ihre Bedeutung verliehen hat, denn die feste und unveränderliche Oberfläche der Eisenschienen ist vorzüglich geeignet, um die Zugkraft der Locomotive zum Transport zu benutzen, deren Anwendung auf gewöhnlichen Straßen (als sogenannter Chaussée-Dampfwagen) **) noch immer eine sehr problematische ist und mindestens immer eine sehr beschränkte bleiben wird ***). Die Eisenbahnen machen folglich indirect den ungleichmäßigen, unsicheren und kostspieligen Transport durch thierische Kräfte entbehrlich, indem sie zugleich den Betrieb durch die die billige, sichere und in jedem Maße disponible Dampfkraft zu dem vortheilhaftesten erhoben ****). Da die Locomotive mit ihrer starken Zugkraft *****) zugleich den Vortheil einer noch unübertroffenen Geschwindigkeit verbindet, so liegt darin ein wesentliches Moment zur Erklärung der raschen Verbreitung und universellen Anwendung der Eisenbahnen in neuerer Zeit. In der That begannen die Eisenbahnen in technischer, commerzieller und politischer Beziehung erst eine Rolle zu spielen, seitdem die Locomotive erfunden und vervollkommnet war †), weil mit dieser erst die Möglichkeit eines allgemeinen und potenzirten Verkehrs gegeben ward, der in schneller Beförderung großer Massen seinen Hauptstützpunkt findet.

Diesen mannichfachen und bedeutenden Vortheil, welchen die Eisenbahnen ihre rasche Verbreitung und nationalökonomische Bedeutung verdanken, sind aber auch verschiedene Nachtheile entgegenzustellen, die von der Anlage der Eisenbahnen unzertrennlich sind. Wir sehen hier von den Unglückfällen ab, die durch Zusammenstoß von Wagen, so wie dadurch entstehen können, daß Locomotiven und Wagen aus den Schienen gerathen. Diese theils durch Unvorsichtigkeit, theils durch Naturereignisse herbeigeführten Ausnahmen sind nicht den Eisenbahnen an

---

*) Lardner, lectures on steam engine. In der Uebersetzung (Leipzig 1836) 13. Abschnitt. §. 137.

**) Siehe den Art. Locomotive.

***) In neuerer Zeit, wo der Transport auf Eisenbahnen fast ausschließlich mittelst der Locomotiven geschieht, findet man öfter die Meinung verbreitet, als sei der Betrieb der Eisenbahnen unzertrennlich an die Locomotiven gebunden. Dies ist aber durchaus nicht begründet, denn theils bleibt der Hauptvorzug der Eisenbahnen, der geringe Wälzungswiderstand, unter allen Verhältnissen und bei jedem Betriebsmittel derselbe, theils ist wohl möglich, daß die Benutzung der motorischen Kraft des Dampfes durch die Anwendung anderer Motoren verdrängt werden kann, während kaum anzunehmen ist, daß die Natur und Art der Eisenbahnen dadurch eine wesentlich andere werden dürfte.

****) Siehe d. Art. Dampfmaschine. Bd. II. S. 448 ff.

*****) Man baut die Locomotiven gegenwärtig selten unter, wohl aber über 200 Pferdekraft.

†) Die Erfindung der Locomotive gehört einer viel neueren Zeit an, als die der Eisenbahnen. 1802 ward die erste ortsverändernde Hochdruckmaschine von Trevithik und Vivian patentirt und erst 1828 erhielt dieselbe durch die Verbesserungen von Seguin, Booth und Stephenson die Vollkommenheit und Wichtigkeit, die sie seitdem als Locomotive behauptet, während die Verbesserungen im Einzelnen sich noch fortwährend vermehren.

sich, sondern einem nachlässigen, unvorsichtigen oder zu gewagten **Betrieb** zur Last zu legen und könnten in den meisten Fällen durch Ordnung, Ruhe und Vorsicht vermieden werden.

Dagegen ist es in der Natur der eisernen Schienenwege begründet, daß sie den angeführten bedeutenden Nutzeffect nur auf **horizontaler und geradliniger** Bahn leisten. **Krümmungen** und **Steigungen** sollten prinzipiell vermieden werden, da von diesen die Vermehrung und Ungleichförmigkeit des Widerstandes auf Eisenbahnen abhängt, und die nützliche Zugkraft dadurch ebenso wie die Geschwindigkeit verringert wird. Die natürlichen Terrainverhältnisse machen aber die Anlage einer vollkommen geradlinigen und horizontalen Bahn meist unmöglich, und bedingen fast immer eine Anzahl complicirter Kunstbauten, welche die Anlage- und Betriebskosten bedeutend vermehren und die Sicherheit wohl gefährden, aber nicht erhöhen können.

Bei der Anlegung einer Eisenbahnlinie sind daher die Zwecke, die dadurch zu erreichen sind, mit den erforderlichen Mitteln genau abzuwägen und zu vergleichen. Wenn auch politische, kommerzielle und industrielle Verhältnisse die Anlage einer Eisenbahn wünschenswerth oder nothwendig machen, so hängt, selbst wenn der pecuniäre Gewinn oder Verlust dabei nicht in die Wagschale fallen soll, die Entscheidung der **Möglichkeit** einer Eisenbahnlinie doch immer von **constructiven** Gründen ab.

Zunächst ist eine genaue Kenntniß der Terrainverhältnisse der Gegenden erforderlich, durch welche eine Eisenbahn geführt werden soll. Die geographische Lage, der Werth des Bodens, die Profilverhältnisse, so wie die physische und geologische Beschaffenheit des Landes sind zu erforschen. Dazu gelangt man durch die sogenannten **Vorarbeiten**, die in einer genauen Vermessung, in zuverlässigem Nivellement, in Bohr- und Sprengversuchen &c. bestehen, denen sich ein **Kostenvoranschlag** anschließt. Dann erst erfolgt die Bestimmung des **Bahnalignements**, d. h. die Anlegung der Eisenbahnlinie, deren man in schwierigen Fällen gewöhnlich mehrere zur Auswahl und Vergleichung vorschlägt. Hierbei sind es hauptsächlich die nationalökonomischen Gründe, welche in zweiter Instanz, nachdem die Möglichkeit der Anlage, so wie der Kostenpunkt constatirt ist, den definitiven Ausschlag geben müssen. Ist dieser erfolgt, so beginnt die **Construction** der Bahn selbst, und somit zunächst die Wirksamkeit der Wasser- und Straßenbau-Ingenieure, welcher sich später erst die der Maschinen-Ingenieure anschließen kann *).

Man unterscheidet bei der Anlage der Eisenbahnen die Construction des **Unterbaues** von der des **Oberbaues**. Unter **Unterbau** versteht man alle diejenigen Theile einer Bahn, welche die Schienen mit ihrer Unterlage, den Schwellen, nebst deren Unterbettung zu tragen haben. Zum **Unterbau** gehört sonach die Anlage der Dämme und Einschnitte, die Bestimmung der Krümmungen und Steigungen, die Construction der Brücken, Viaducte, Durchlässe und Tunnel.

---

*) Die nationalökonomische Bedeutung der Eisenbahnen liegt gänzlich außerhalb unserer Aufgabe. Auch über das Constructive können wir uns hier nur in allgemeinster Weise aussprechen, da diese Betrachtungen theils in das spezielle Gebiet der Ingenieurwissenschaften, theils in das der Technologie und Maschinenlehre gehören.

Fast niemals ist die Bodenfläche, auf welcher eine Eisenbahn gelegt werden soll, so fest und eben, daß sie gar keiner Nachhülfe bedürfte. Man muß also zuerst die Mittel anwenden, die bei dem Kunststraßenbau im Allgemeinen anzuwenden sind. Diese reichen aber bei Eisenbahnen nicht aus, da die Hauptbedingung ist, diese so horizontal oder doch mit so geringem und gleichmäßigem Ansteigen und Fallen zu führen, als nur immer möglich ist. Um dies zu erreichen, und die Terrainschwierigkeiten zu überwinden, bedient man sich hauptsächlich folgender Mittel und Regeln.

Die Unebenheiten des Bodens werden durch Einschnitte oder Abtragungen (deblais, cuttings) in den zu hoch liegenden Strecken, und durch Dämme oder Aufschüttungen (remblais, embankments, fills) an den zu niedrig gelegenen Strecken ausgeglichen. Hierbei gilt die Regel, daß sich die Abtragungen und Auffüllungen möglichst ergänzen und diese überhaupt so vertheilt werden sollen, daß der dazu nöthige Erd-, Sand- und Steintransport ein möglichst kurzer und bequemer sei. Die vollkommenste Anlage ist eine solche, bei welcher keine andern Steigungen der Bahnlinie vorkommen, als die, welche durch die verschiedene Höhenlage der bestimmenden Hauptpunkte überhaupt bedingt sind; bei der also keine verlorene Steigung vorkommt. Denn auf einer solchen muß die Last mit ganz nutzlosem Kraftaufwand emporgehoben werden, um sie auf der andern Seite wieder niedersinken zu lassen. Die Wellen des Terrains sollen also vollkommen beseitigt und in gerade Linien verwandelt werden.

Die Tiefe der Einschnitte, so wie die Höhe der Dämme hat aber ein gewisses Maß, das nur mit Nachtheil überschritten werden kann. Diese Grenze ist bedingt durch den Abrollungswinkel des Terrains, welcher die Steigung der Böschungen bestimmt, die, zufolge ihrer Ausbreitung, bei zunehmender Höhe einen zu großen Flächenraum nutzlos consumiren würden. Außerdem werden derartige Anlagen mit zunehmender Tiefe und Höhe bedeutend erschwert, besonders wenn man bei Einschnitten mit Wasser zu kämpfen, oder in Terrain zu arbeiten hat, das entweder sehr hart oder zum Nachrutschen geneigt ist *). Ganz besondere Mittel sind bei Aufschüttungen auf weichen oder sauren Boden, auf Moorgrund, Sumpf oder Flugsand in Anwendung zu bringen. Man muß in diesen Fällen Faschinenbauten, Wasserabgrabungen, Pfahlgründungen, Steinversenkungen, Piloten- und Betonbau &c. anwenden.

Reichen diese Mittel nicht aus, so greift man zum Bau von Viadukten und Tunneln, an den sich der ohnehin nöthige Bau der Brücken und Durchlässe anschließt. Die Viadukte oder Landbrücken ersetzen die Dämme bei Ueberschreitung von Thälern, von Wegen, Morästen oder Niederungen, die Ueberschwemmungen ausgesetzt sind &c., kurz da, wo Dämme zu unsicher wären oder zu hoch ausfallen würden. Die Tunnel treten an die Stelle der Einschnitte, sobald man auf Felsenzüge trifft, die nicht umgangen werden können, oder sobald die Einschnitte zu tief ausfallen würden. In diesen Fällen zieht man Durchbrechung unterirdischer Bahnstrecken vor, die oft nicht theurer zu stehen kommen, als ungeheure Dämme und Einschnitte, wie man sie früher baute, weil man den Tunnelbau mehr scheute als

*) Wir erinnern nur an den berüchtigten Einschnitt bei Gießen auf der Main-Weserbahn, dessen Vollendung mehrere Jahre in Anspruch nahm.

jetzt *). Wegen der Kostspieligkeit und Gefährlichkeit werden aber lange Tunnels noch jetzt möglichst vermieden, wie man sich überhaupt nur im Nothfall zum Tunnelbau entschließen soll **).

Brücken über größere Flüsse und Kanäle, so wie Durchlässe mit darüber liegenden Dammschüttungen bei kleineren Gewässern, sind zur Ueberschreitung fließender Wasser unbedingt nöthig. Man baut sie aus Holz, Stein oder Eisen, je nach der Breite der Ueberbrückung und dem vorhandenen Material. Sie werden meist horizontal, geradlinig und rechtwinklig auf den Fluß angelegt. Bei großen Spannungen muß man zu außerordentlichen Mitteln schreiten, um die Ueberbrückung zu ermöglichen. Hier stehen die berühmten Britannia- und Conway-Röhrenbrücken oben an, welche Stephenson aus Eisenblech erbaute und zuerst bei der Bahn über dem Menai-Kanal angewendet hat ***). Auch die Viadukte geben oft zu sehr verwickelten Aufgaben Veranlassung ****).

Trotz dieser verschiedenen, oft ebenso kostspieligen als schwierigen Mittel, die Bahnlinie möglichst horizontal und eben zu erhalten, ist dies doch niemals vollkommen zu erreichen. Geringe Steigungen der Bahn kommen weniger in Betracht und sind wohl allenthalben statthaft. Bei einer Steigung von circa $\frac{1}{270}$ beträgt aber der Widerstand schon ungefähr das doppelte von dem Widerstande auf

*) Den größten Einschnitt hat bis jetzt wohl Stephenson in England ausgeführt. Er hat eine Tiefe von 185 Fuß; doch gehört dieser Erdbau zu den Abnormitäten und kann durchaus nicht als Regel dienen.

**) Auf der London-Brighton Bahn sind auf der kurzen Distanz von 50 engl. Meilen 6 große Tunnel; auf der Aachen-Lütticher Bahn befinden sich dicht hinter einander nicht weniger als 16 größere und einige kleinere Tunnel. Ueber die Länge der Tunnel entscheidet keine besondere Regel. Die Sheffield-Manchester Bahn hat einen Tunnel von 15000 Fuß Länge, die Paris-Lyoner Bahn bei Blaisy einen von 4100 Meter, die Bahn zwischen Avignon und Marseille einen von 4620 Meter; für die Bahn von Turin nach Chambery ist sogar durch den Mont-Cenis ein Tunnel von 12290 Meter (fast $1^{2}/_{3}$ deutsche Meile) projectirt worden.

***) The Britannia and Conway Tubular Bridges by Clark and Stephenson (Vol. II. London 1850). Die Britannia-Brücke ist 1100 Fuß lang und hat nur einen Pfeiler auf dem Britannia Rock inmitten des Meeresarmes. Die Röhren sind 103 Fuß über der Meeresfläche erhoben; jede Röhre ist 470 Fuß lang und wiegt 2000 Tonnen oder 40000 Centner.

****) So kommt auf der North-Midlandbahn der Fall vor, daß die Eisenbahn unter dem Cromfordkanal, aber über der Landstraße fortgeht, welche selbst wieder an dieser Stelle den Fluß Amber übersetzt, so daß sich auf diesem Punkte vier Communicationslinien über einander befinden. An der Badelwand bei Gratz, auf der Wien-Triester Bahn, kommt der umgekehrte Fall vor, daß die Eisenbahn eine Strecke parallel neben dem Fluß geführt werden mußte, während die Landstraße parallel über der Eisenbahn an der Gebirgswand hinläuft. In England sind die Viadukte häufiger als auf dem Continent, wo man die Kreuzungswege oft über die Bahn selbst gehen läßt, während man sie in England stets über oder unter der Bahn wegführt. Der größte Viadukt auf dem Continent ist der auf der Sächsisch-Bayrischen Eisenbahn zur Ueberschreitung des Göltzschthales, der 2400 Fuß lang und 280 Fuß hoch ist. Mehrere der nach London einmündenden Eisenbahnen besitzen aber Viadukte von viel größerer Länge, wenn auch von geringerer Höhe. Sie dienen dazu, die Eisenbahnen aus London heraus über ganze Stadttheile hinwegzuführen. Der schöne neue Viadukt mit der Elbbrücke von doppelter Breite, welcher auf der Sächsisch-Böhmischen Eisenbahn die Dresdner Altstadt mit der Neustadt verbindet, hat eine Länge von circa 3000 Ellen oder $^{1}/_{4}$ deutsche Meile.

der Ebene. Eine Steigung von $\frac{1}{150}$ oder 34 Fuß auf die englische Meile verursacht bereits einen dreifachen Widerstand gegen den auf horizontaler Bahn *). Beim Hinauffahren eines Wagenzuges längs einer schiefen Ebene vergrößert sich nämlich der Widerstand des Zuges um den so vielten Theil seines Gesammtgewichtes, als die zu ersteigende Höhe von der schiefen Ebene ausmacht **). Stephenson und Brunel überschritten früher nur unter besonderen Umständen eine Steigung von $\frac{1}{330}$, weil ersterer ganz richtig eine Steigung von 20 Fuß pro engl. Meile $\left(\frac{1}{270}\right)$ für ebenso nachtheilig hielt, als eine engl. Meile Verlängerung der Bahn. Als Maximum der zulässigen Steigung nahm man früher allgemein $\frac{1}{250}$ oder 100 Fuß auf 1 deutsche Meile an ***).

Dies hat sich sehr geändert, seitdem man die Locomotiven stärker und schwerer, mit 4 oder 6 gekuppelten Treib-Rädern construirt, während die bessere Construction und Instandhaltung der Wagen den Widerstandscoefficienten um das Doppelte gegen früher verringerte. Durch die dadurch gewonnene Zugkraft ist es möglich geworden, viel steilere Steigungen zu überwinden, obgleich man auch jetzt noch nicht gern das Verhältniß von 1 : 120 überschreitet. Doch hat man in neuester Zeit noch viel stärkere Steigungen durch schwere gekuppelte Locomotiven überwunden, ohne Beihülfe anderer Hülfsmittel ****). Man nennt diese stark

*) Lardner, lectures on the steam engine. Cap. 13. §. 137.

**) Appleton giebt (Dictionary of Engineering. New-York 1852. Vol. II. Art. Railroad) folgende Regel für die Bestimmung des Widerstandes auf der schiefen Ebene. Er nimmt an, daß für die amerikanischen Verhältnisse der Gesammtwiderstand von 1 Tonne Last auf einer guten horizontalen Eisenbahn $8\frac{1}{2}$ Pfund beträgt. Dieser constante Factor giebt, als Widerstandscoefficient in Bruchtheilen der Gesammtlast ausgedrückt, $\frac{1}{264}$. Bei einer schiefen Ebene von $\frac{1}{264}$ Steigung erfordern aber 264 Pfund Gewicht, 1 Pfund Zugkraft oder $8\frac{1}{2}$ Pfund halten 1 Tonne das Gleichgewicht. Bei dieser Neigung, welche 20 Fuß per Meile ausmacht, ist also die Wirkung der Schwere gleich der der Reibung, die Zugkraft zur Ersteigung dieser Ebene beträgt also das Doppelte von der auf horizontaler Ebene, d. h. man könnte mit gleicher Zugkraft auf horizontaler Ebene 2 Meilen zurücklegen, während man bei $\frac{1}{264}$ Steigung nur 1 Meile durchfährt. Da nun das mechanische Moment zur Hebung einer Last unter allen Umständen sich gleich bleibt, welches auch der Neigungswinkel der Ebene sei (weil das Moment ein Product aus Kraft und Weg ist), so kann man den Weg statt der Kraft substituiren. Daraus folgt, daß, um den Widerstand der schiefen Ebenen durch den Weg auszudrücken, man, für jede 20 Fuß Steigung auf der Bahnlinie, zu der gemessenen wirklichen Länge derselben noch 1 engl. Meile zu addiren hat, welche man als horizontal annimmt und für diese die Zugkraft von $8\frac{1}{2}$ per Tonne einführt.

***) Karmarsch und Heeren, Techn. Wörterbuch. Bd. I. Art. Eisenbahn.

****) Die bayrische Staatseisenbahn hat zum Uebergang über das Fichtelgebirge bei Lichtenfels eine schiefe Ebene von 1 : 40 Steigung; die württembergische Staatsbahn bei Ulm eine über die rauhe Alp von 1 : 45, jede auf nahe $\frac{3}{4}$ Meilen Länge. Man wendet dazu Locomotiven von 34 Tonnen Gewicht an, und befördert dadurch 22 Axen mit 110 Tonnen Gewicht, bei einer Geschwindigkeit von 18 Minuten auf die Meile. (Dingl. Polyt. Journ. 1852. 2. Augustheft.) Am großartigsten ist die, mehrere Meilen auf- und absteigende schiefe Ebene mit einer Steigung bis zu $\frac{1}{45}$, welche den Uebergang über den Sömmering auf der Wien-Triester Linie vermittelt. (Siehe Dingl. Polyt. Journ. 1851 und 1852.)

ansteigenden Bahnstrecken, zur Unterscheidung von den geringeren Steigungen speziell: schiefe Ebenen oder Rampen*).

Bei derartigen Steigungen ist aber nicht nur der Kraftaufwand beim Ersteigen der Höhe, sondern auch die zunehmende Geschwindigkeit beim Herabfahren ins Auge zu fassen. Der Ruhewinkel der Reibung ist, wie schon oben bemerkt, für die Bahnwagen ungefähr $^1/_{250}$, weshalb man diese Zahl auch als Maximum der Steigung früher aufstellte. Man hat aber gefunden, daß bei viel steileren Steigungen die Beschleunigung der Schwere sehr bald durch den vergrößerten Luftwiderstand beim Herabfallen aufgehoben und die Geschwindigkeit des herabgehenden Zuges deshalb zuletzt eine gleichförmige wird. Schwere Züge erhalten bei einem Gefälle von $^1/_{100}$ nur 18 bis 22 Meter Geschwindigkeit per Secunde (40 bis 50 engl. Meilen per Stunde), wenn man sie frei laufen läßt, ohne zu bremsen. Bei Anwendung der Bremse kann diese Geschwindigkeit innerhalb der Grenzen der Sicherheit noch für viel stärkere Gefälle eingehalten werden. Die Frage bei der Abwägung der Vortheile verschiedener Gefälle ist also nur die, der Vergleichung des Verlustes an Kraft und Geschwindigkeit bei Ersteigung bedeutender Neigungen gegen die Kosten der Einschnitte, Tunnel, Dämme und Viadukte, welche ein geringes Gefälle erfordern oder horizontal liegen**).

Können ungünstige Steigungsverhältnisse nicht umgangen werden, so sind die Ingenieure bei der Vertheilung des Gefälles für eine Bahnlinie im Allgemeinen darüber einverstanden, daß es vortheilhafter sei, die Mehrzahl der Steigungen gering, einige aber sehr bedeutend zu machen, und somit das Gefälle auf wenige Punkte zu concentriren. Dem entgegen steht aber das Badnall'sche Verfahren der Construction undulirender oder wellenförmiger Bahnen. Badnall läßt starke Steigungen so regelmäßig auf einander folgen, daß der Wagenzug beim Hinabfahren eine solche lebendige Kraft durch die Beschleunigung ansammelt, daß er die darauf folgende Steigung mit geringer Nachhülfe der Locomotive wieder überwinden kann.

Das bis jetzt erreichte Steigungsverhältniß von 1 : 40 wird man aber für den Betrieb mit Locomotiven nicht leicht überschreiten können, weil sonst die Locomotiven zu schwer würden, wodurch, wie die Erfahrung bereits lehrt, die Schienen zu leiden anfangen. Finden sich bei Ueberschreitung von Gebirgszügen oder Er-

---

*) Vergl. d. Art. Ebene.

**) Siehe Mahan und Schubert Civil-Ingenieur. (Stuttgart 1850.) Eine sehr merkwürdige Stelle über den Nutzen der schiefen Ebenen gegen den der Viadukte befindet sich in M. v. Weber's Bearbeitung von Th. Tate's Festigkeit eiserner Träger (Dresden 1851) in der Vorrede S. X.

Weber sagt daselbst:

„Es hieße den Fortschritt der praktischen Wissenschaften sehr engherzig auffassen, wenn man glauben wollte, daß das Geheimniß, die verlorene Kraft“ (sollte eigentlich heißen, die entwickelte lebendige Kraft) „beim Herabfahren eines Thalabhanges, zum Ersteigen des entgegengesetzten zu sammeln, nicht bald gefunden werden könne. Unsere, für die Ewigkeit gebauten hohen Steinviadukte werden dann den Nachkommen unsere Unwissenheit in diesem Punkte ebenso bezeugen, wie uns die Aquäducte der Römer bekunden, daß sie das Gesetz der communicirenden Röhren nicht gekannt haben!“ —

Badnall's „undulirende Bahnen“ sind bereits der Anfang des Versuches, die schiefe Ebene im Sinne Weber's an die Stelle der Viadukte treten zu lassen.

steigung von Hochebenen dennoch stärkere Gefälle, so hat man zwei Mittel, dieselbe zu überwinden. Das einfachere Mittel besteht in künstlicher Verlängerung der Bahnlinie. Man läßt die Linie serpentiren, d. h. die Anhöhe schlangenförmig oder schneckenförmig ersteigen, ein bei dem Bau von Landstraßen im Gebirge häufig angewendetes Verfahren zur Ermäßigung der natürlichen Ansteigung. Bei Eisenbahnen tritt aber als Hinderniß entgegen, daß Krümmungen dadurch entstehen, welche bei Steigungen doch prinzipiell vermieden werden sollten. Diese Bahnverlängerungen werden daher nur zulässig, wenn sie auf einem so ausgebreiteten Terrain vorgenommen werden können, daß die Entwickelung der Linie in Bögen von möglichst großen und überhaupt zulässigen Halbmessern erfolgen kann *). Auf diese Weise ist u. A. der Uebergang über den Sömmering ermöglicht worden.

Das zweite, seltener angewendete und gefährlichere Mittel besteht gerade in einem umgekehrten Verfahren. Anstatt die Bahnlinie künstlich zu verlängern und auszubreiten, summirt man im Gegentheil alle kleineren Steigungen zu einer einzigen möglichst geradlinigen und sehr steilen schiefen Ebene, wodurch man die übrige Bahn auf eine möglichst große Länge fast horizontal macht. Bei solchen steilen Rampen, welche durch Locomotiven nicht zu bewältigen sind, werden feststehende Dampfmaschinen oder sogenannte Rampenmaschinen zum Aufwinden oder Herablassen der Züge angewendet, die an Seile mit einem passenden Mechanismus angehängt werden. Diese eigentlichen Rampen erhalten durchaus ein gleiches Gefälle, sind geradlinig und haben an ihrem Anfang und Ende horizontale Bahnstrecken, auf welchen der Zug bei der Ankunft und Abfahrt halten kann. Bei der Thalfahrt kann man die Wagen mit Nachhülfe der Bremsen ihrem eigenen Gewichte ohne Anwendung der Dampfkraft überlassen. Eine solche Rampe befindet sich bei Lüttich auf der Bahn von Köln nach Mecheln. Mannigfache Erfahrungen und Unglücksfälle haben indeß gezeigt, daß es vorzuziehen ist, jedes andere Hülfsmittel zur Ueberwindung der Steigungen dem durch stehende Dampfmaschinen vorzuziehen, da die letzteren durch ihren intermittirenden Betrieb auch ein sehr bedeutendes Capital mit geringem Nutzen verzehren.

Um die stationäre Rampenmaschine entbehrlich zu machen, wendet man in England und Frankreich Selbstwirkende Rampen (Plans inclinés automoteurs, self-acting-planes) an, welche so angeordnet sind, daß der Train, welcher die Rampe ersteigen soll, durch einen anderen, der abwärts geht, hinauf gezogen wird. Diese Anordnung ist aber, wegen der erforderlichen großen Regelmäßigkeit des Betriebes, nur mit Vortheil bei Bergwerken rc., nicht aber für Personenverkehr anzuwenden. Man hat auch vorgeschlagen, die self-acting-planes mit Wasserrädern oder dadurch zu betreiben, daß man den aufsteigenden Zug durch Wassergewichte hebt, die sich am Fuße der Rampe entleeren, durch den absteigenden Zug gehoben werden und sich oben wieder füllen.

Auf die Nothwendigkeit der Vermeidung der Krümmungen oder Curven in der Eisenbahnlinie ist bereits mehrfach hingewiesen worden. Der Nachweis über die Natur ihrer Nachtheile kann erst nach Betrachtung des Oberbaues

*) Vergl. Hartmann, Encyklopäd. Handbuch des Maschinen- und Fabrikwesens. 1. Th. II. Abth. S. 300 ff.

gegeben werden. Ueber das Maximum der zulässigen Krümmungen bestehen aber erfahrungsmäßige Regeln, die bei Construction des Unterbaues streng einzuhalten sind *). In dem Verhältniß, als die Geschwindigkeit der Fahrten sich steigert, nehmen auch die Nachtheile und Gefahren zu, welche mit den Curven verbunden sind. Am Nachtheiligsten sind daher die Krümmungen am Fuße einer geneigten Ebene, wegen der großen Geschwindigkeit, welche der Wagenzug bei dem Hinabfahren erlangt, die es zuweilen unmöglich macht, ihn zu hemmen. Am zulässigsten sind starke Krümmungen in der Nähe der Bahnhöfe, weil dort immer langsam gefahren werden muß und diese Strecken meist horizontal sind.

In jedem Fall sollen die Curven mit möglichst großem Halbmesser angelegt werden. Früher gab man als Maximum einen Krümmungshalbmesser von 5000 Fuß an; jetzt legt man Curven von 400, 300, selbst 250 Fuß Radius. Bei der jetzt gebräuchlichen Geschwindigkeit der Wagen von 12 bis 16 Meter per Secunde auf ebener Bahn ist der kleinste Krümmungshalbmesser, bei dem nicht zu befürchten ist, daß Nachtheile entstehen, ungefähr 180 Meter. Um ganz sicher zu gehen, sollte der Halbmesser aber nicht weniger als 300 Meter sein **). Ist die Curve enger, so muß man besondere Vorsichtsmaßregeln bei Legung des Oberbaues beobachten.

Alle diese in das Ingenieurfach einschlagenden Bedingungen, welche sich theilweise widersprechen, machen die Ausführung des Unterbaues zu dem bei weitem schwierigsten Theile der Eisenbahnanlagen. Die Terrainschwierigkeiten namentlich verlangen zu ihrer Beseitigung meist Hülfsbauten und Maschinen, die mit dem, an sich sehr einfachen Oberbau und den zum Betriebe nöthigen Maschinen in keinem Verhältniß stehen ***).

---

*) Nach den amerikanischen Erfahrungen giebt Appleton (Dictionary, New-York 1852. Vol. II. Art. Railroad) folgende Regel an:

Durch Experimente hat man gefunden, daß eine Curve von 400 Fuß Radius den Widerstand verdoppelt; d. h. wenn ein Train durch den vollen Umkreis einer Curve von solchem Halbmesser bewegt würde, so bedürfte man dazu die doppelte Zugkraft von der, welche consumirt würde, wenn man dieselbe Länge in gerader Linie durchlief, die ungefähr $1/2$ engl. Meile beträgt. Appleton folgert hieraus, daß, um den Widerstand der Curven übersehen zu können, man dieselben in Längen der Bahn ausdrücken soll, so zwar, daß man zu der gemessenen Länge der Bahn für jede 360 Grad (oder jeden vollen Kreis) der einzelnen Curvenkrümmungen, von jedem beliebigen Durchmesser, $1/2$ engl. Meile horizontale und geradlinige Bahnlänge hinzufügen solle. Diese Annahme rechtfertigt Appleton dadurch, daß er, analog den Widerstandsbestimmungen auf schiefen Ebenen, voraussetzt, daß das mechanische Moment zur Ueberwindung ganzer Curvenkreise innerhalb gewisser Grenzen sich gleich bleibe, so daß an Weg gewonnen wird, was an Kraft verloren geht, daß also engere Curven zwar kürzer sind, aber mehr Widerstand verursachen, während Curven mit größerem Halbmesser zwar weniger Kraft consumiren, aber diese auf einen längeren Weg. Die Annahme von 400 Fuß ist ein Werth, der für Bestimmung des Widerstandes als äußerste Grenze dienen kann. Die Zugkraft ist für die horizontale Ebene zu $8^1/_2$ Pfund per 1 Tonne verstanden.

**) Mahan und Schubert, Civil-Ingenieur §. 619. (Stuttgart 1850.)

***) Das Baugerüst für den Viadukt über das Gölzschthal kostete allein nahe an 30000 Thaler. Zur Beschaffung des Materials waren 3 Dampfmaschinen, Hülfseisenbahnen, mehrere Krahne und Aufzugsmaschinen, Hülfspumpen, Pochwerke ꝛc. erforderlich. Nicht minder schwierig ist oft die Anlegung und Ausmauerung langer Tunnel, so wie die Ausgrabung tiefer Einschnitte u. s. f.

Erst wenn der Unterbau vollkommen beendet ist, kann der Oberbau beginnen. Man versteht darunter die, zur Lagerung und Befestigung der Schienen gehörigen Theile, die Schienen selbst, die Construction der Straßenübergänge, Ausweichen, Bahnkreuzungen, Drehscheiben ꝛc. Das Legen des Oberbaues, also die Ausführung der eigentlichen Eisenbahn, ist Aufgabe der Maschinen-Ingenieure, welche auch die technische Ausrüstung der Bahnhöfe mit allem Zubehör der Betriebsmaschinen ꝛc. zu besorgen haben.

Wenn Fuhrwerke über einen lockeren unbefestigten Boden hinfahren, oder auf Chausséen, die nicht sorgfältig gehalten werden, so bleiben sie mit ihren Rädern bekanntlich gern in den nämlichen Spuren, weil der Boden in den Spuren durch die Räder fester und glatter gedrückt wird und sich die Wagen deshalb leichter fahren. Diese Erfahrung, die jeder Fuhrmann instinktmäßig macht, leitet schon von selbst darauf hin, diejenigen schmalen Streifen einer Straße, auf welcher die Räder laufen, besonders fest und glatt zu machen, selbst wenn man den Grund dieses Verfahrens, daß dadurch nämlich der Wälzungswiderstand verringert wird, nicht kennt *).

Die künstlich befestigten und geglätteten Fahrgleise, welche ähnlichen Erfahrungen ihre Entstehung verdanken, sind deshalb schon sehr alt. Wir finden ihre Spuren schon bei den Aegyptern, welche die Obelisken aus den Steinbrüchen bis zu den Ufern des Nils auf Walzen mit untergelegten Balken beförderten. Bei den Griechen und Römern kommen bereits vollkommnere Anlagen vor. In den Ruinen des Tempels der Ceres zu Eleusis finden wir die deutlichsten Merkmale von Schienen, welche als Gleise für die Wagen gelegt waren. In den deutschen Bergwerken sind schon seit Jahrhunderten die sogenannten Hundegestänge (Karrengestänge) gebräuchlich, welche aus mit Gleisen versehenen Holzblöcken bestehen. Als die Königin Elisabeth von England, um dem englischen Bergbau aufzuhelfen, geschickte Bergleute aus Deutschland kommen ließ, wurde diese Einrichtung auch in jenes Land hinüber verpflanzt. Jetzt nehmen die Engländer diese Erfindung für sich in Anspruch, der sie allerdings auch ganz neue Gesichtspunkte abgewannen.

Die ersten künstlichen Fahrgleise aus Holz kommen in England bei den Kohlenwerken von Newcastle-on-Tyne um das Jahr 1676 vor **). Die dabei gemachten Erfahrungen, daß ein Pferd mehr als das Vierfache zu ziehen vermochte, als auf gewöhnlichen Straßen, führten um das Jahr 1738 in England die ersten Bahnen aus eingelassenen Schienen für allgemeinere Zwecke des Transportwesens herbei ***). 1776 construirte Curr die erste vollkommnere Bahn aus Eisenschienen für die Kohlengruben von Sheffield. Die Schienen lagen auf hölzernen Langschwellen, und hatten die Form von Rinnen. Sie waren aus

*) Crelle (Journal für Baukunst, 1835, 1837, 1838).

**) In Roger North's Biographie, vom Lord Siegelbewahrer North, erzählt letzterer, daß in Newcastle-on-Tyne (1676) die Kohlen aus den Minen zu dem Ufer des Flusses dadurch transportirt wurden, „daß man Riegel aus Bauholz in gerader Linie und genau parallel neben einander legte (by laying rails of timber) und schwere Karren (die deutschen „Hunde") mit 4 Rollen verfertigte, welche in diese Holzgleise eingepaßt waren. Dadurch wurde der Transport so erleichtert, daß ein Pferd 4 bis 5 „Chaldrons" (à 36 engl. Scheffel) Kohlen fortbewegen konnte."

***) Karmarsch und Heeren, Techn. Wörterb. Bd. I. S. 545.

schmalen Eisenplatten gebildet, die in kurzen Stücken gegossen außen eine Flansche trugen, um die Räder einwärts auf der Bahn zu erhalten. Die Räder hatten ganz ebene Spurkränze, und nur der obere Rand der Schiene hinderte sie am Herabgleiten. Man nannte diese platten Eisenschienen (Plate rails), auch Tram-ways oder Tramroods (Rinnenwege). Sie waren nichts anderes als Räderspuren aus Gußeisen, die in Holz eingelassen oder auf dieses aufgenagelt wurden.

Der nach und nach eintretende Holzmangel in England und die vermehrte Eisenproduction ließen an die Stelle der bisher gebrauchten Langschwellen kurze Querschwellen treten, auf welche die Plate-rails gelegt wurden. Da sie aber nunmehr zwischen den Querschwellen frei lagen, waren sie zu schwach. Man ersetzte sie durch andere gußeiserne Schienen, die unterhalb eine verticale Verstärkungsrippe trugen. Die Rippe hatte durchaus dieselbe Breite, der Länge nach aber die Form einer halben Ellipse. Im Jahr 1797 gab Barns einer solchen Rinnen-Eisenbahn, von den Lawson Hauptkohlenwerken bis zum Ufer des Tyne bei Newcastle, statt der hölzernen Querschwellen steinerne Unterlagen. Dieselbe Unterlage wendete Outram 1800 bei einer Eisenbahn nach Little-Eaton in Derbyshire an *). Diese Bahnen dienten aber sämmtlich nur für den Kohlentransport.

Die verbesserte Form der Tram-ways genügte gleichwohl auf die Dauer nicht. Zwischen der Flansche und der Oberfläche der Platte sammelte sich Schlamm und Staub, welcher die Reibung vermehrte, die Zugkraft verringerte und die Abnutzung der Schienen und Wagenräder beschleunigte.

Um die Nachtheile der Tram-ways zu umgehen, nahm man daher gußeiserne Stäbe, die, auf der Oberfläche etwas gewölbt, oben breiter als unten waren und über der Unterlage hervorstanden, ohne Flansche. Man nannte diese Schienen Edge-rails oder Kantenschienen (Stabschienen). Diese Aenderung in der Form der Schienen rief ebenso eine in der Form der Radreife hervor. Die Flansche, welche früher an den Schienen festsaß, gab man nunmehr dem Spurkranz der Räder. Dieser erhielt einen Vorsprung an der innern Seite, um die Räder auf der Bahn zu erhalten.

Zur Befestigung auf den Steinblöcken oder Holzschwellen goß man entsprechende Lappen an, durch welche man Nägel schlug. Da jedoch diese Befestigungsart ein häufiges Brechen der Schienen verursachte, so erfand man die Befestigung durch Stühlchen (chairs) aus Gußeisen. Diese Stühlchen sind noch heute in Anwendung; ebenso ist die Form der Edge-rails, die sich im Querschnitt zur T form gestaltete, noch immer gebräuchlich.

Die gußeisernen Schienen waren bis zum Jahr 1810 ausschließlich im Gebrauch. Sie brachen aber leicht, man erhielt wegen ihrer Kürze eine Unzahl Fugen oder Stoßflächen, es fehlte ihnen der nöthige Grad der Elasticität und sie erzeugten dadurch einen harten Gang der Räder. Man bemühte sich deshalb, Schienen aus geschmiedetem, sodann aus gewalztem Eisen darzustellen, und dies gelang zuerst im Jahre 1810. Seitdem hat man die gußeisernen Schienen ganz verlassen.

---

*) W. Grier, Mechanics Pocket Dictionary, Art. Railway.

Die zuerst gebrauchten schmiedeeisernen Schienen hatten noch dieselbe Form, wie die gußeisernen. Die Länge der Schienen war gewöhnlich $4^1/_2$ Meter, die untere Begrenzung wellenförmig, so daß die Schienen von 3 Fuß zu 3 Fuß einen Stützpunkt durch Querschwellen erhielten. Diese Form war bekannt als Fischbauchschiene (Fish-belly-rail), die man jedoch bald mangelhaft fand. Die Schienen brachen, ungefähr 23 Centim. vom Unterstützungspunkte, und konnten wegen des Fischbauches doch nicht allenthalben unterstützt werden.

Jetzt gebraucht man allgemein die geraden Schienen, deren obere und untere Fläche parallel laufen (parallel-edge-rails). Die Querschnitte haben sehr verschiedene Formen erhalten. Man unterscheidet zunächst eigentliche Kantenschienen von der Form eines einfachen oder doppelten T, und flache oder sogenannte amerikanische Schienen, die aus einem gewöhnlichen viereckigen Eisenstabe bestehen, der nach der breiten Seite auf hölzerne Balken gelegt wird.

Die in Europa am meisten gebräuchlichen Schienen haben in der Hauptsache beistehende 3 Querschnittsformen, die jedoch in den Dimensionen und im Einzelnen vielfach wechseln.

Fig. I. Die eigentliche Kantenschiene (edge-rail) von der doppelten T form. Sie ist vielfach angewendet, unter andern auf der London- und North-Western-Bahn, auf der bayerischen Bahn ꝛc. Der obere und untere Theil der Schiene wird zuweilen gleich geformt, um die Schiene wenden zu können.

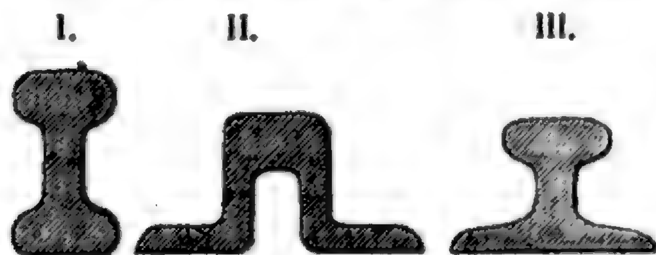


Fig. II. Die Brückenschiene oder Hohlschiene (bridge-rail) mit der größten Abweichung von der gewöhnlichen Form. Sie wurde zuerst auf der Great-Western-Bahn in England angewendet und sodann auf der Magdeburg-Leipziger und der badischen Bahn nachgeahmt. Die Engländer hielten sie für die beste Form, die Erfahrung hat sie als die schlechteste dargethan. Die Schienen wurden durch die gewichtigen englischen Locomotiven zerdrückt und verbogen.

Fig. III. Die Fußschiene (foot-rail) in Deutschland am gebräuchlichsten. Die in neuester Zeit angestellten sorgfältigen Versuche über die Tragkraft der Schienen haben dahin geführt, daß man zur doppelten T form mehr und mehr zurückkehrt, wenn der hohe Preis derselben ihre Einführung nicht hindert *).

Die Dimensionen des Querschnittes einer Schiene müssen so sein, daß die Biegung im Mittelpunkte zwischen zwei Auflagen, die durch die schwerste Last auf dieser Linie hervorgebracht wird, nicht so groß ist, daß daraus ein merklicher Zu-

*) Man wirft diesen Schienen vor, daß die obere Seitenkante, welche dem Druck und der Einwirkung der Wagenräder am meisten ausgesetzt ist, sich mitunter ablöst. Dies kann aber nur bei schlechter Querschnittsform und mangelhafter Fabrikation vorkommen. Siehe den Artikel Festigkeit und Th. Tate's Tragkraft eiserner Balken und Träger von M. v. Weber, (Dresden 1851). Die Literatur über die Tragkraft eiserner Schienen ist sehr bedeutend. Director v. Weber hat selbstständige Versuche darüber angestellt, die bis jetzt noch nicht veröffentlicht sind. Wir kommen im Art. Festigkeit darauf zurück.

wachs des Widerstandes gegen den Zug hervorgehen kann. Die größte Senkung soll nicht über 0,75 Millimeter bei der gewöhnlichen Tragweite von 0,9 Meter betragen. Der Kopf ist ungefähr 6 Centimeter breit und 2,5 Centimeter hoch. Dies giebt eine gute Bahn für die Räder und hinreichende Stärke. Die Breite der Rippe beträgt 19 bis 25 Millimeter und die Höhe der ganzen Schiene 75 bis 127 Millimeter. Die Dicke und Breite der Bodenflansche ist nach der Größe und Art des Verkehrs verschieden *). Die Höhe der gewalzten Schienen soll aber, nach der englischen Regel, nie über 5 Zoll betragen **).

Die unmittelbare Unterstützung der Schienen oder ihre Unterlage besteht, wie bereits bemerkt, meist aus Holz oder Stein. In neuester Zeit hat man aber in Deutschland auch Béton oder Terassin (letzteres von Busse in Leipzig) vorgeschlagen. In England wendet man jetzt vielfach gußeiserne Unterlagen an, auf welchen Schienenstühle (chairs) gleich mit angegossen oder die Brückenschienen angeschraubt werden. Hierher gehören die combinirten gußeisernen Langschwellen und Stühle (cast-iron combined sleepers and chairs) von Barlow auf der englischen Süd-Ost-Bahn; ferner Brunton's und Greave's patentirte Unterlagen und R. Stephenson's neue Methode, mit Blechunterlage ***).

Am gewöhnlichsten ist noch immer die Holzunterlage. Sie erfüllt die Hauptbedingung, ein festes, nicht nachgebendes Bett für die Schienen zu bilden, wodurch weder seitwärts noch vertical eine Verschiebung durch den über sie gehenden Druck möglich ist, und giebt eine angenehmere Fahrt als die Steinblöcke, die zu harte Widerlagen sind, zu große Sorgfalt bei der Befestigung erfordern und dem Zerspalten ausgesetzt sind. Die Unterstützung selbst, welches Material man immer anwenden mag, zieht sich entweder unter der ganzen Schienenlage hin, oder man bringt sie nur an einzelnen Punkten der Schienen an.

Man unterscheidet überhaupt 4 Systeme von Unterlagen. 1) Das alte englische System mit Steinunterlage von einzelnen getrennten Steinblöcken oder steinernen Querschwellen (System von Stephenson, London-Birmingham-Bahn) und das neue System mit gußeisernen Blöcken von Greave.

2) Das System mit fortlaufenden steinernen Unterlagen (Steinbahnen, System von Reynold) oder mit eisernen Langschwellen (System von Barlow rc. als neuestes englisches Verfahren). Beide Systeme sind specifisch englisch, weil das Holz dort theuer ist und man an Ersatzmittel denken mußte. Die massiven Steinbahnen können nur da angewendet werden, wo das Material sehr billig ist. Man zieht auf dem Continent und in Amerika durchweg eine

---

*) Siehe Mahan und Schubert, Lehrbuch der Wissenschaft des Civil-Ingenieurs. (Stuttgart 1850.) §. 610 bis §. 612.

**) Die bei den neueren Eisenbahnen nothwendig gewordenen großen Transportzüge, die zugleich mit bedeutender Geschwindigkeit bewegt werden, machten bald schwerere Locomotiven nothwendig, als man früher benutzte. Dabei ergab sich, daß ein Gewicht der Schienen von 30 bis 35 Pfund per Yard, wie man es früher bei Querschwellen anwandte, nicht ausreichte, weshalb man Schienen construirte, die per Yard 50 bis 84 Pfund wiegen, je nach der Tragkraft und der Querschnittsform.

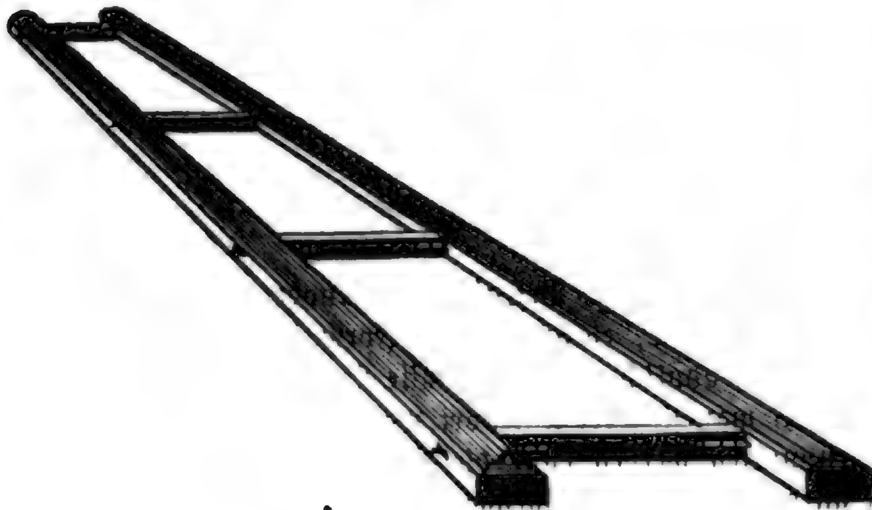
***) Siehe Stephenson, Railways, an Introductory Sketch. Part. 1. (London 1850.) p. 20 sqq.

Unterlage von Eichenholz vor, indem man dabei eins der beiden folgenden Systeme wählt.

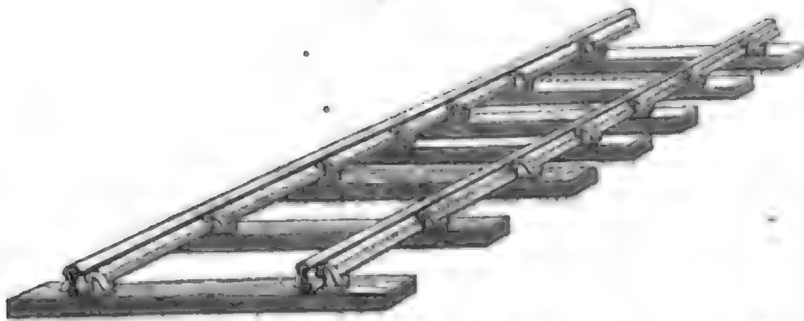
3) Das amerikanische System, charakteristisch durch Langschwellen (longitudinal bearings), d. h. der Längenrichtung nach gelegte Balken, welche für die Schienen eine ununterbrochene Unterlage bilden. Beistehende Fig. I. zeigt das System in seiner besseren Ausführung, wobei die Langschwellen auf kurzen Querschwellen ruhen, auf denen sie aufgekämmt sind. Die in der Figur gezeichnete Schienenform ist die Brückenschiene der Great-Western-Bahn; in Amerika braucht man aber fast durchgängig die Kantenschienen. Das System der Langschwellen hat den Vortheil, daß man leichte Schienen (selbst bis zu 8 Pfund per 1 Fuß) anwenden kann, da ihrer Tragkraft nicht viel zugemuthet wird. Demnach ist das System hauptsächlich nur in Amerika gebräuchlich, während man auf dem Continent das folgende vorzieht.

4) Das belgische System der Querschwellen (tranverse sleepers), Fig. II., das billigste und bequemste. Die oberen Langschwellen fallen gänzlich weg, man legt nur Querschwellen in den gut fundamentirten Grund der Straße oder auf Langschwellen, welche unter ihnen hin laufen. Das letztere, jetzt gebräuchlich auch in Amerika, ist nothwendig bei neuen Straßendämmen, wo sich die Enden der Querschwellen ungleich setzen. Die Entfernung derselben ist gewöhnlich 0,9 Meter oder 3 Fuß, die Breite der Schwellen 15 bis 20 Centimeter. Die Schienen sind 15 F. lang, stärker und schwerer, und fahren sich wegen ihrer Elasticität sehr gut. Die Abbildung zeigt Kantenschienen (edge-rails) mit der jetzt gebräuchlichen Befestigung *).

I.

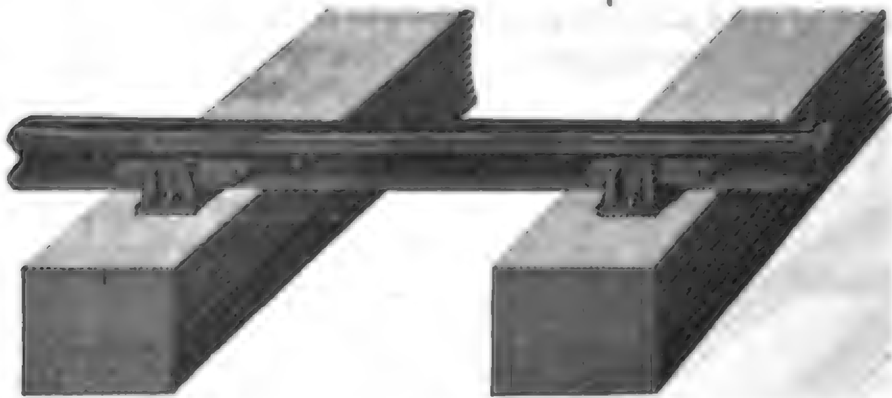


II.



*) Bei einigen neueren Eisenbahnen in England hat man den Schwellen die Querschnittsform eines rechtwinklichen Dreiecks gegeben, wobei der rechte Winkel nach unten gekehrt ist. Dies geschieht theils der Holzersparniß wegen, weil man 4 Schwellen aus einem Balken schneiden kann, theils sollen sie bequemer zu legen sein und eine stabilere Unterlage bilden. Zuweilen legt man die Schienen auch unmittelbar auf die Köpfe von eingerammten Pfählen

Es ist bereits bemerkt, daß man zur **Befestigung** der Schienen auf den Schwellen theils **Nägel** oder **Schrauben**, theils gegossene **Schienenstühle** (chairs) anwendet, welche man als dritte Körper zwischen die Schiene und Schwelle (oder Tragstein) bringt. Die **Stühlchen** sind aus einem Stück gegossen und bestehen aus einer Bodenplatte und zwei Seitenwänden. Auf ersterer ruht die Schiene, zwischen den beiden letzten wird sie durch Keile befestigt. Die Stühle sind auf der Unterlage durch eiserne Bolzen oder Holznägel befestigt. Zu den Befestigungskeilen nimmt man Holz, das im Ofen getrocknet und durch ein Schneidzeug getrieben wird, das ihnen die richtige Form giebt und sie zugleich stark comprimirt. Der Keil saugt sodann an der Luft Feuchtigkeit auf, schwillt an, und bildet so eine sehr feste Verbindung. Beistehende Figur zeigt die Befestigung der Kantenschiene auf den Stühlchen durch die Keile, so wie die der Stühlchen auf den



Querschwellen. Außer dieser einfachsten Befestigungsmethode sind noch viele andere in Anwendung gebracht worden, ebenso wie die Form der Stühlchen sehr verschieden angegeben wird. Gewöhnlich werden auf alle Querschwellen Schienenstühle gestellt, zuweilen braucht man sie aber nur dort, wo zwei Schienen zusammenstoßen. Auf den Zwischenpunkten werden dann die Schienen durch eiserne Nägel mit umgebogenem Kopfe an den Schwellen festgenagelt *).

Das **Legen** der **Schienen** erfordert wegen des genauen Parallelismus derselben, so wie wegen der erforderlichen Unverrückbarkeit eine große Sorgfalt. Man bedient sich dazu Schablonen, Richtungspfähle 2c. Besonders schwierig ist die Anordnung in Krümmungen, wo die Schienen nach der Curve sorgfältig gebogen werden müssen und die nach außen gelegene Schiene, mit größerem Krümmungshalbmesser, höher gelegt werden muß, aus Gründen, die noch näher erörtert wer-

---

auf. Hierbei werden die Pfähle sehr nahe an einander eingetrieben und zuweilen durch eiserne Querstangen verbunden. Die Schienen müssen eine hinlängliche Stärke haben, um nicht unter der Last zu oscilliren. Mitunter legt man auch die Langschwellen nicht auf Querschwellen, sondern ebenfalls auf die Köpfe eingetriebener Pfähle. Eine sehr gute Methode, welche das Fundamentiren durch „Ballast" erspart, für unsere Verhältnisse aber zu theuer ist.

*) Je schwerer nach und nach die Schienen wurden, desto schwerer mußten auch die Stühlchen werden. Sie wogen anfangs 6 und 12 Pfund für die Zwischenpunkte und Stoßfugen. Jetzt macht man die kleineren Stühle zu 20 bis 28 Pfund, die größeren zu 34 bis 42 Pfund. Solche Stühle sind z. B. bei der London-Birminghamer Bahn, bei welchen die Schienen 75 Pfund per Yard wiegen.

den sollen. Außerdem ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß die Eisenschienen sich durch die Wärme ausdehnen und in der Kälte zusammenziehen, daß sie folglich in fortwährender, wenn auch sehr geringer Bewegung sind. Die Befestigung muß also der Art sein, daß dieser Longitudinalverschiebung kein Hinderniß im Wege steht, weil sich sonst die Schienen biegen. Aus diesem Grunde muß zwischen den Enden der Schienen, am sogenannten Schienenstoß, ein kleiner Raum für die Ausdehnung der Schiene übrig bleiben. Die Größe dieses Raumes richtet sich nach der Temperatur, welcher die Schienen überhaupt ausgesetzt sind, so wie nach der, bei welcher sie gelegt werden. Man hat diesen Stoßfugen verschiedene Formen gegeben. Die gebräuchlicheren sind die rechtwinkliche oder schief geschnittene Fuge, welche beim Legen dadurch markirt werden, daß man Eisenbleche von der erforderlichen Stärke einschiebt, die später, nach Befestigung der Schiene, herausgenommen werden. Die Längendifferenz einer Schiene beträgt in verschiedener Temperatur $^1/_8$ bis $^3/_{16}$ Zoll.

Die Entfernung zwischen den Mittellinien der beiden Schienenreihen nennt man die Spurweite. Sie betrug bei den ersten Bahnen (Tram-Roods) nicht mehr als $3^1/_2$ Fuß, eine Entfernung, die sich mit der Einführung der Locomotiven erweitern mußte. Stephenson gab seinen ersten Locomotiven eine Spurweite von 4 Fuß $8^1/_2$ engl. Zoll oder 1,435 Meter. Es ist diese Zahl, die mittlere Weite der Wagenspur auf Landstraßen, eine sehr unbequeme, die trotzdem fast allenthalben beibehalten wurde. Denn nach den ersten Locomotiven richtete sich die Anlage der damit zu befahrenden Bahnen. Da aber nicht nur in England, sondern auch auf dem Continent theils Stephenson, theils Sharp-Roberts anfänglich fast sämmtliche Locomotiven lieferten, so kam es, daß obige, anfänglich willkürliche englische Spurweite fast überall eingeführt wurde, da verschiedene Spurweiten auf verschiedenen Linien große Uebelstände darbieten, wie das Beispiel der Great-Western-Bahn und der badischen Bahn zeigt. Die erstere, welche fast in allen constructiven Verhältnissen eine Ausnahme von den übrigen Bahnen macht, hat eine Spurweite von 7 engl. Fuß oder 2,134 Meter angenommen *).

Von der Spurweite hängt die Dimension der Dämme, so wie des ganzen Unterbaues ab. Doch kommt hierbei die zweite Frage nicht minder in Betracht, ob man einfache oder doppelte Gleise legen will, d. h. ob die Bahn ein- oder zweispurig sein soll. In neuester Zeit, wo man sich von der außerordentlichen Nützlichkeit der Doppelgleise überzeugt hat, erbaut man diese fast immer, entweder gleich bei der ersten Herstellung der Bahn, oder man richtet wenigstens den ganzen Unterbau für zwei Gleise ein. Bei den Doppelgleisen

*) Einerseits wäre eine größere Spannweite, als 4 Fuß $8^1/_2$ Zoll allerdings wünschenswerth, theils wegen der größeren und schwereren Locomotiven, welche jetzt im Bau sehr beschränkt sind; theils, um Räder mit größerem Durchmesser anwenden zu können, die an der Außenseite der Wagen angebracht werden könnten, während sie jetzt unter diesen stehen; theils um den Schwerpunkt der Last tiefer zu bringen. Anderseits ist aber die Spurweite von 7 Fuß zu groß, da dadurch sich alle Herstellungskosten der Bahn, so wie die Preise der Wagen und Locomotiven bedeutend vermehren, die Unsicherheit der Axen und das Schleifen und die Reibung der Räder, namentlich in den Curven, zunimmt. Am wünschenswerthesten wäre die badische Spurweite von 5 bis $5^1/_2$ Fuß, die sich aber von allen bestehenden Eisenbahnen isoliren würde, weshalb in Preußen die englische schmale Spurweite sogar gesetzlich vorgeschrieben ist, um die Differenzen zu vermeiden.

läßt man zwischen beiden Gleisen gewöhnlich die Entfernung der Spurweite. Die Entfernung von den äußeren Schienen bis zu den Seiten des Einschnittes oder Bahndammes wird selten größer als 6 Fuß, gewöhnlich weniger genommen.

Bei allen geraden Theilen der Bahnlinie sollen aber die Unterlagen quer über die Bahn in einer horizontalen Ebene und parallel zur Eisenbahnlinie der Länge nach liegen. Die obere Fläche der Schienen soll einwärts geneigt sein, conform mit der conischen Fläche der Radkränze, die wir noch näher zu betrachten haben. Dies wird gewöhnlich dadurch erreicht, daß man den Stühlen die erforliche Neigung giebt, oder indem man den Kopf der Schiene mit der erforderlichen Abschrägung nach innen anfertigt.

Da, wo man hölzerne Schwellen, die meist aus Eichenholz sind, zur Unterlage anwendet, ist aber noch darauf zu denken, das Holz, welches der Witterung ausgesetzt ist und oft auf feuchtem Boden liegt, möglichst zu conserviren. Man hat der Reihe nach fast alle Holzconservationsmittel versucht. Man hat namentlich das Holz kyanisirt (mit Quecksilbersublimat getränkt); durch die hydraulische Presse mit verschiedenen Eisensalzen, mit Chlorzink &c. imprägnirt; sogar das Bourgery'sche Verfahren (das Holz während des Lebensprozesses durch diesen selbst mit essigsaurem Bleioxyd infiltriren zu lassen) vorgeschlagen &c. Busse überzog die Schwellen mit einer asphaltähnlichen Mischung, doch hat man in neuester Zeit als die beste und billigste Methode die gefunden, das Holz mit einer dünnen Lösung von Kupfervitriol abzukochen *).

Endlich ist den Schwellen auf dem Unterbau eine sichere Unterbettung zu bereiten. Das Material, woraus die Dämme und Einschnitte bestehen, ist meistentheils Sand, Thon oder gemischte Erdmasse, welche Feuchtigkeit einsaugt, wodurch nicht nur das Holz leidet, sondern auch beim Darüberfahren der Wagen Einsenkungen entstehen können. Die Schwellen müssen daher ein festes und trockenes Fundament erhalten, welches die Engländer Ballast nennen **). Dieser Ballast besteht gewöhnlich aus Steinschotter oder reinem, groben Kies, welcher Wasser durchläßt, eine Dicke von 23 bis 46 Centimeter erhält und auf der natürlichen Fläche des Unterbaues aufliegt. In kohlenreichen Districten benutzt man zum Ballast mit Vortheil Kohlenklein oder Schlacke. Der Ballast wird gut eingestoßen oder fest gewalzt. Offene Gräben, gemauerte Abzüge oder Drains (poröse Thonröhren) sollen das Wasser der Oberfläche unter dem Ballast abführen. Sind die Schienen gelegt, so wird eine neue Schicht von Schotter, Kies oder Kohle aufgeführt, der man eine schwach convexe Oberfläche giebt, aus welcher die Schienen mit ihren Schwellen ungefähr noch 3 Zoll hervorragen.

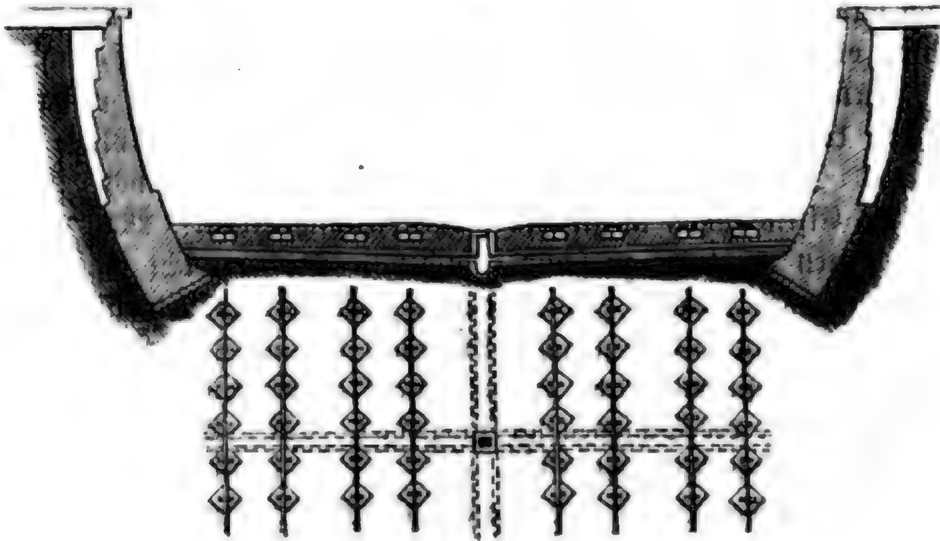
---

*) Das empfehlenswertheste Verfahren ist dabei wohl das, welches die sächsischen Ingenieure Büttner und Möhring sich patentiren ließen und Director v. Weber auf der sächs. Staatseisenbahn eingeführt hat. Die Schwellen werden mit einer dünnen Kupfervitriollösung (1 Gewichtstheil $\dddot{S}\dot{C}u$ auf 99 Gewichtstheile Wasser) dadurch imprägnirt, daß man sie in der Lösung kocht und sodann in und mit derselben erkalten läßt. Die Schwellen bleiben 8 Stunden in der Lösung stehen, bis sie auf circa 60° C. abgekühlt ist. Diese äußerst billige und einfache Methode hat sich ausgezeichnet bewährt und verdient die allgemeinste Verbreitung.

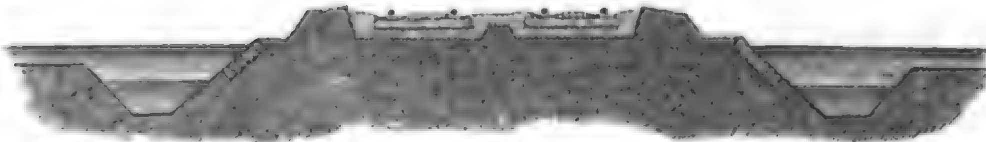
**) In Amerika, wo in der Regel das Holz weit billiger ist als auf dem Continent, sucht man zuweilen die Dämme gänzlich durch Pfahlwerke zu ersetzen. Die Bahn ruht sodann entweder unmittelbar auf den Köpfen der Pfähle, oder auch auf Holzwänden (Truss-Works), welche auf dieselben gesetzt sind.

Zur Versinnlichung der Anordnung des Ober- und Unterbaues mögen folgende 3 Beispiele dienen. Fig. I. zeigt den Durchschnitt und Grundriß eines Einschnittes (cutting) oder Durchstiches, mit elliptischen Futtermauern, um das Nachrutschen des Terrains zu verhindern. Die Eisenbahn hat 4 Gleise, die auf viereckige Steinblöcke gelegt sind, nach der älteren englischen Methode. Die Wasserabzüge (drains) sind sowohl der Länge nach, als auch quer über die Bahn unter dem Ballast angelegt.

I.



II.



III.

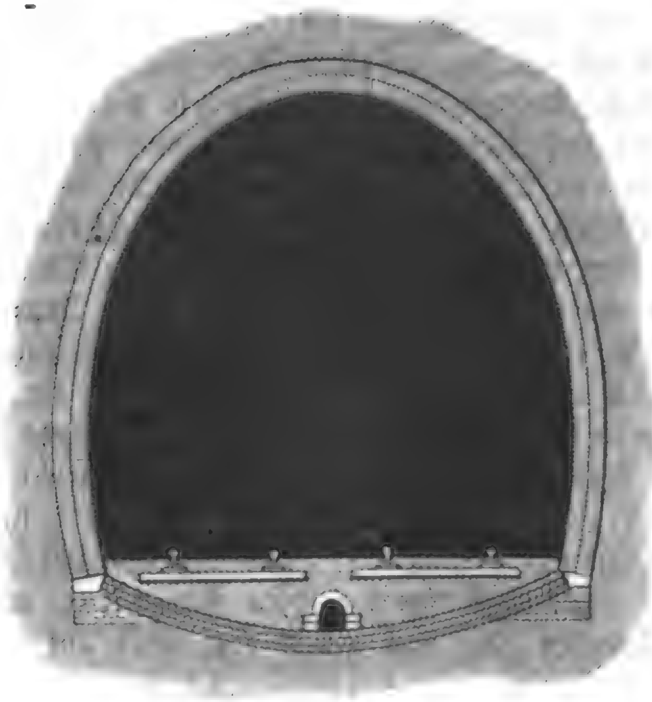


Fig. II. ist ein niedriger Auftrag oder Damm (embankment) mit Verkleidung der Böschung durch Pflaster. Die Bahn hat ein Doppelgleis mit hölzernen Querschwellen, der Ballast ist an seiner Oberfläche schwach gewölbt. Die Anlage ist für einen Distrikt projectirt, der zeitweise unter Wasser gesetzt wird. Wasserabzugsgräben sind an den Seiten des Dammes angebracht.

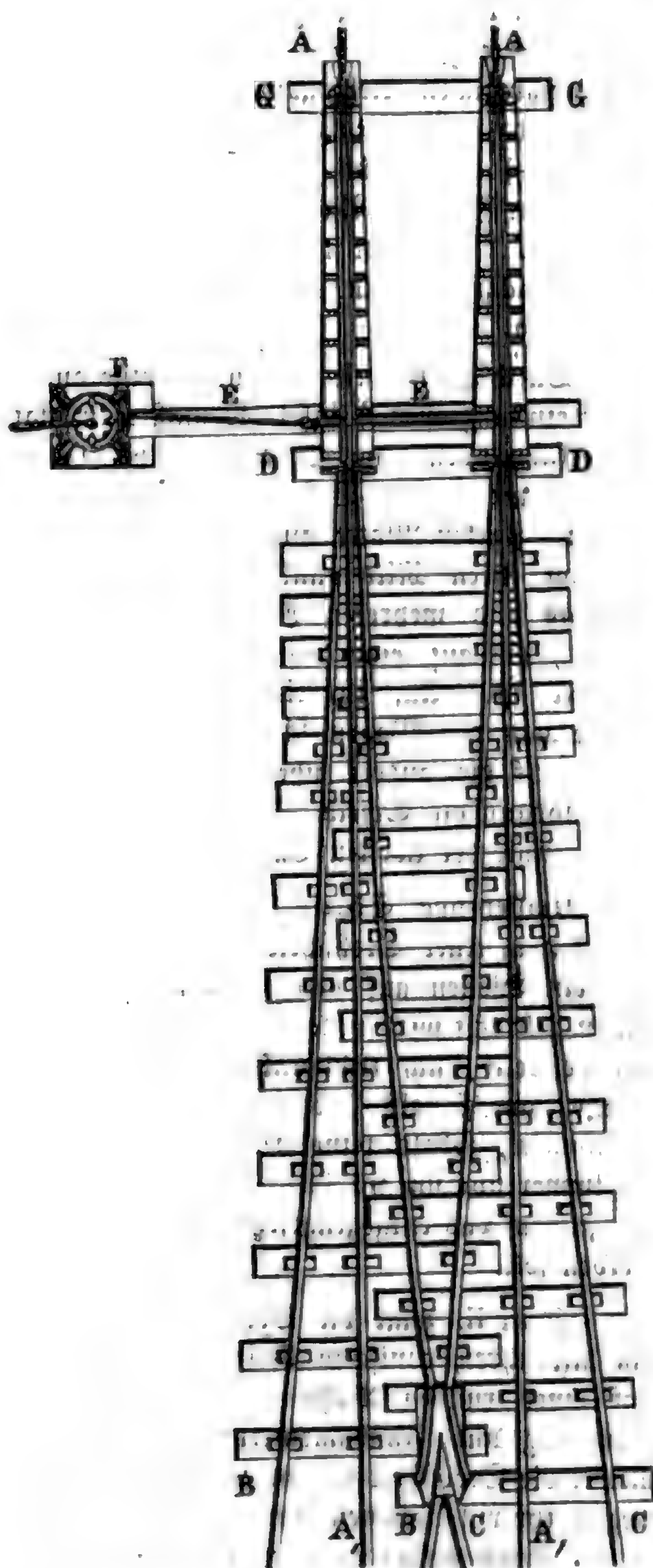
Fig. III. zeigt den Querschnitt einer Bahn mit Doppelgleis, Querschwellen und Kantenschienen mit Stühlchen, auf einem starken und gut fundamentirten Ballast ruhend, unter welchem sich die Drainröhren nur der Länge nach hinziehen, da

das elliptisch gemauerte Fundament das Wasser von den Seiten nach der Mitte hinführt. Der Querschnitt ist bei einem Tunnel genommen, dessen elliptische Form, doppelte Ausmauerung und Fundamentirung man zugleich mit übersehen kann.

Mit dieser Anlage ist aber der Oberbau noch nicht vollendet. Es gehören dazu hauptsächlich noch die Constructionen der Straßenübergänge, Ausweichen und Drehscheiben.

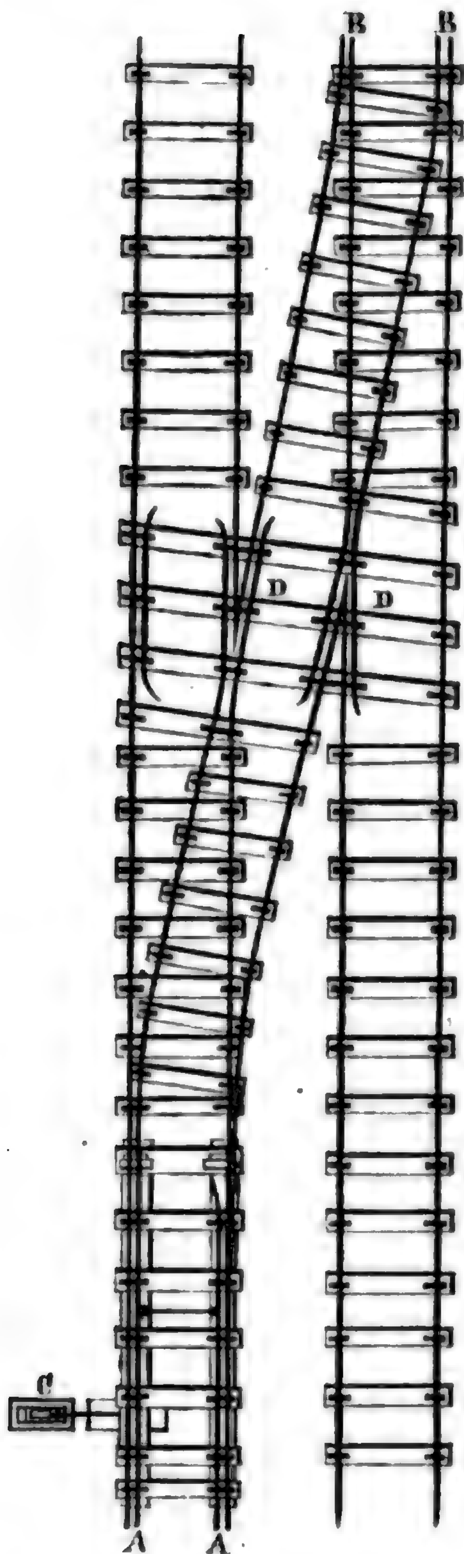
In England ist es Grundsatz, daß die Eisenbahnen die Landstraßen und Wege nicht in gleicher Ebene durchschneiden. Man faßt die Bahn der ganzen Länge nach mit Buschwerk oder Zäunen ein, und führt allenthalben die Wege entweder unter oder über der Bahn weg, indem man kleine auf- und absteigende Viadukte, Brücken oder Durchzüge für die Wege baut. Man erspart somit die Bahnwärter, deren Gebäude, die Barrieren ꝛc., so daß die Anlage dadurch nicht theurer wird. In Deutschland dagegen kommt es sehr häufig vor, daß Chausséen und Wege die Eisenbahnen in gleicher Höhe durchschneiden. Man muß in diesem Falle die Schienen möglichst zu schützen suchen. Dies erreicht man dadurch, daß die Straßenübergänge zunächst gemauert oder gepflastert werden, und zwar bis dicht an die Schienen heran und in gleicher Höhe mit dem Kopf derselben. Der Länge der Schienen nach läßt man nur einen kleinen Spielraum, wodurch eine Rinne gebildet wird, in der die Schienen sich hinziehen. Diese Rinnen werden zu beiden Seiten mit eisernen Schutzplatten belegt, welche nur so viel Raum lassen, daß die Räder mit ihren Flanschen der Breite und Tiefe nach Platz haben. Die Platten werden in gleicher Höhe mit den Schienenköpfen gelegt und dienen theils zur Abhaltung der Chausséesteine, theils dazu, die Schienen gegen den Stoß der Räder zu schützen, die auf der Chaussée darüber gehen. Wo es ausführbar ist, soll man nebenher noch eine Rinne anbringen, um den Schlamm und Staub von dem Zwischenraume abzuhalten, in welchem das Rad laufen muß.

Bei Bahnen mit einfachen Gleisen müssen ferner kurze Seitenbahnen oder Ausweichstellen angebracht werden, mit deren Hülfe zwei begegnende Wagenzüge sich ausweichen können, indem der eine Zug in diese Seitenbahn fährt und dort hält, bis der andere auf der Hauptlinie vorüber ist. Aber auch bei Doppelgleisen muß dafür gesorgt sein, daß ein Zug von einem Gleise auf das andere übergehen kann. Namentlich ist das auf Bahnhöfen nöthig, wo oft viele Gleise neben einander liegen und jeder Zug auf jedes beliebige Gleis muß gelangen können. Dazu bedient man sich sogenannter Weichen (switches) oder Ausweichen, deren Construction im Princip sehr einfach, im Einzelnen aber sehr verschieden ist. Umstehende Figur zeigt die einfachste Art der Weichen nach dem englischen Princip von Wild und Fox, wodurch man von dem Gleise A A sowohl auf die Seitenlinien B B, C C übergehen, als auch auf der Hauptlinie A A verbleiben kann. Die 2 Schienenstücke D G sind beweglich und um die Punkte G G drehbar, die in fester Verbindung mit der Hauptlinie A A bleiben, während das andere Ende D der Schiene beliebig nach rechts oder links gezogen werden kann. Dies geschieht vermittelst der Zugstange E und einer einfachen Hebelvorrichtung F, die hier nur im Grundriß angegeben ist. Die Zugstange E folgt der Bewegung des Hebels; mit der Zugstange bewegen sich die Schienenstücke D G um ihren Fixpunkt G, und so wird es möglich, den von A kommenden Zug nach rechts oder links auf das Seitengleis übergehen zu lassen.



Besondere Aufmerksamkeit erfordern die Durchkreuzungspunkte der Schienen, hier der Punkt B C, wo die Schienenwege B und C sich durchschneiden. An dieser Stelle wird eine eiserne Platte, die Durchkreuzungsplatte (crossing-plate) gelegt; ebenso liegen die beweglichen Schienen auf einer solchen Platte. Die Oberfläche der Platte hat entweder Vertiefungen in der Richtung der Schienen, in welcher die Räderflanschen laufen, oder es sind Schienenstücke, die entsprechend gebogen und abgeschrägt sind, auf der Platte befestigt. Es ist nicht zu vermeiden, daß die Räder an solchen Punkten auf einen Zwischenraum treffen, den sie überspringen müssen, um auf dem eingelenkten Gleise weiter zu kommen. Dies verursacht theils Stöße, theils ist es Veranlassung zu öfteren Unfällen geworden, die aber meist nur daraus entstehen, daß die Weiche nicht richtig gestellt ist. Um den Uebergang möglichst sanft zu machen, gilt die Regel, daß der Winkel zwischen den Schienen und den Ausweichstücken nicht über 3 Grad sein soll. Die Schienen, welche die geradlinigen Stücke der verschiedenen Bahnen verbinden, also zwischen den 2 Ausweichen liegen, die dazu nöthig sind, bilden ein langgezogenes *S*, so daß der Uebergang nach und nach vermittelt wird.

Umstehende Skizze zeigt die Anordnung der etwas veränderten französischen Weichen für den Fall, daß bei einem Doppelgleise ein Zug auf das nebenstehende parallel laufende Gleis beliebig übergehen soll. Die Anordnung der Durchkreuzungspunkte bei D ist deutlich ersichtlich; die Weiche A C ist so gestellt, daß beide Züge parallel neben einander laufen können, ohne durch die Weiche gehindert zu werden. Zieht man diese aber nach dem Hebelapparat C zu, so würde



der von A kommende Zug durch die *S*-Curve über die Kreuzpunkte D nach B zu laufen. In den gefährlichen Uebergangsstellen sind noch Sicherheitsschienen oder Leitschienen (chekrails) angebracht, welche die Radflansche fassen, im Fall das Rad aus dem Gleis springen sollte. Trotzdem muß an derartigen Stellen möglichst langsam und vorsichtig gefahren werden *).

Durchschneidet eine Bahnlinie eine andere unter einem großen Winkel, so muß man, statt den Ausweichen eine Drehscheibe (turntable) anwenden. Diese besteht aus einer runden, starken Platte aus Holz oder Eisen, die um ihren Mittelpunkt mit Hülfe eines Zapfens und mehreren Friktionsrollen, oder Räder, die auf einer eisernen Bahn laufen, drehbar ist. Auf ihr liegen Schienen, auf welche man den Wagen schiebt, der von einer Bahn auf die andere übergehen soll. Man dreht sodann die Scheibe, bis deren Schienen in die Linie der zweiten Bahn fallen.

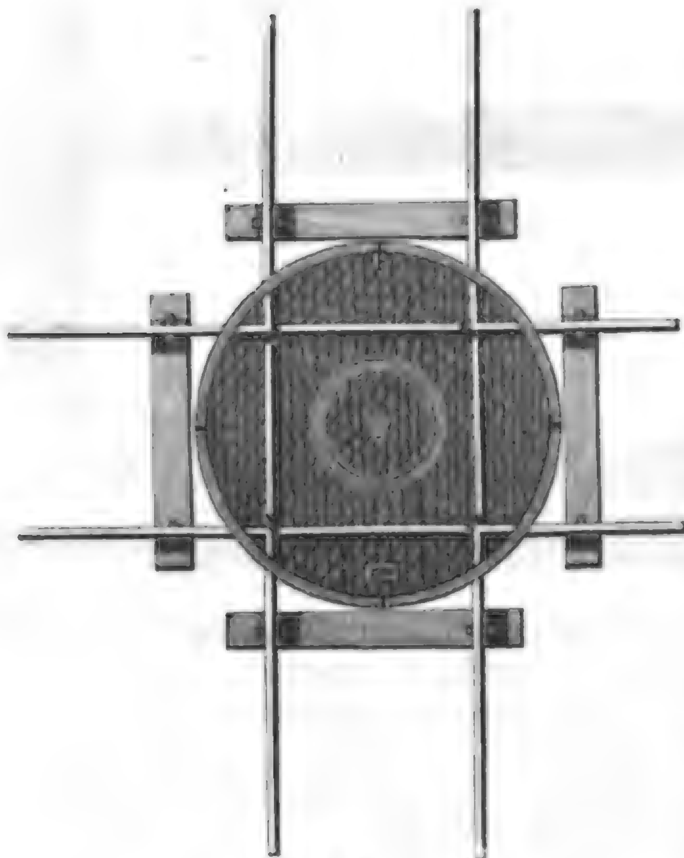
Umstehende Skizze Figur I. zeigt die Anordnung einer Drehscheibe, vermittelst welcher ein Wagen auf vier verschiedene Bahnlinien gebracht werden kann. Die Drehscheibe hat doppelte, sich rechtwinklich durchkreuzende Gleise, um sie als Uebergangspunkt benutzen zu können, sobald keine Drehung nöthig ist, die immer nur um 90 Grad erfolgt, wenn der Wagen auf das entgegengesetzte Gleis gebracht werden soll.

Figur II. zeigt die Drehscheibe im Aufriß mit ihren conischen Reibungsrollen, die auf einer runden Bahn laufen, nebst Einmauerung und Fundamentirung. Man vermeidet die Drehscheiben, wo man kann, theils wegen ihrer langsamen und schweren Handhabung (weil stets nur ein Wagen mit ihnen befördert werden kann und dazu 2 bis 4 Mann erfordert werden); theils wegen ihrer Schwere und Kostspieligkeit **);

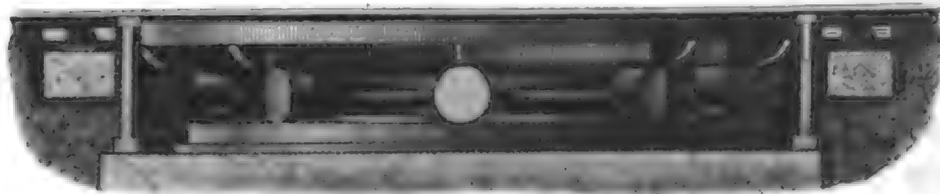
*) Man hat, um die Sicherheit zu vermehren, verschiedene Vorrichtungen vorgeschlagen. Namentlich seien die patentirten Sicherheitsweichen von Director v. Weber erwähnt, welche, im Fall sie unrichtig gestellt wären, durch die Räder selbst in die gehörige Stellung gebracht werden. (Siehe Organ für Eisenbahnwesen von Heusinger. Bd. I. S. 201).

**) Eine gute Drehscheibe ist nicht unter 1000 Thalern herzustellen.

I.



II.

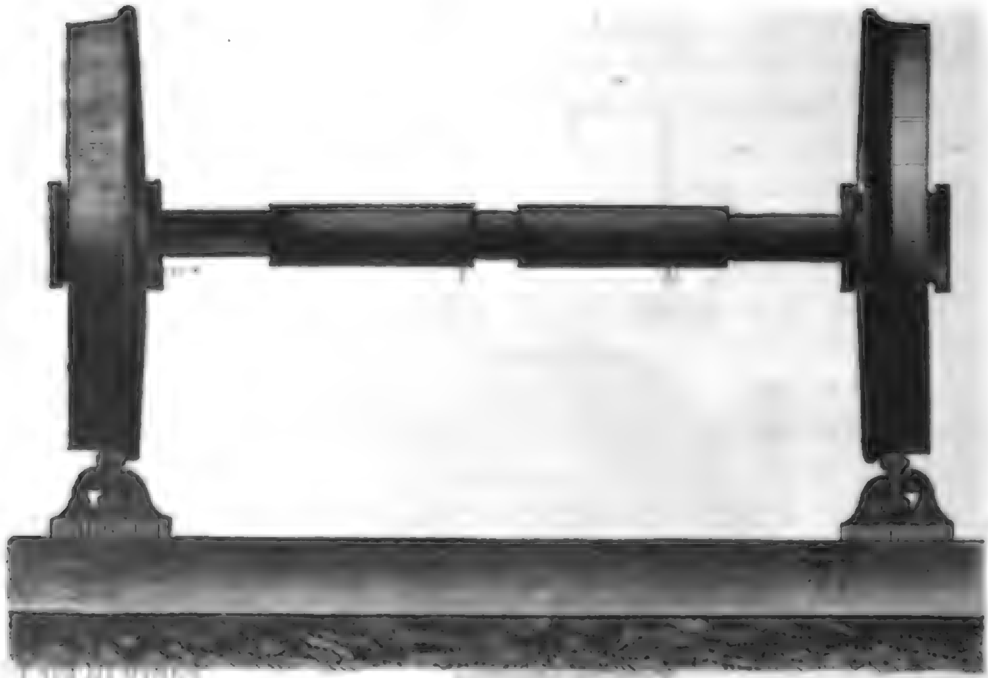


theils wegen der Schwierigkeit ihrer Aufstellung, da sie ein vorzügliches Fundament und die genaueste Aequilibrirung verlangen. In England beseitigt man sie, wo man kann. Nur auf Bahnhöfen und in Wagenremisen ꝛc. sind sie unentbehrlich.

Mit der Construction des Oberbaues ist die der Wagen und namentlich der Räder und Axen eng verbunden, wie schon wiederholt angedeutet worden ist. So lange die Rinnenbahnen (Tram-roods) angewendet wurden, unterschied sich die Construction wenig von der der gewöhnlichen Wagen. Mit der Anwendung der Flachen- und Kantenschienen (Rail-roods) mußte aber die Gestalt der Räder eine durchaus veränderte werden.

Die Seitenansicht zweier mit ihrer Axe verbundenen Eisenbahnräder neuerer Construction giebt umstehende Figur, die zugleich die Befestigung der Kantenschienen in ihren Stühlchen durch Keile zeigt. Das Charakteristische der Räder besteht in Folgendem. Zunächst sind die Radkränze an der innern Seite mit Flanschen oder Spurkränzen versehen, welche verhindern, daß die Räder von den Schienen abgleiten. Diese Spurkränze haben eine geringere Entfernung als die Spurweite, es bleibt zwischen Spurkranz und Schiene ein Spielraum von $^{5}/_{8}$ bis $1^{1}/_{2}$ Zoll. Die Radkränze sind ferner conisch abgedreht, so daß der äußere Durchmesser der Räder ungefähr 1 Zoll weniger beträgt, als der innere.

Durch diese Anordnungen werden vielfache Vortheile erzielt. Durch den Spielraum wird verhindert, daß die Spurkränze an die Schienen anstreifen und so die Reibung vermehren. Ist die Bahn sorgfältig gelegt und sind die Radkränze gleichmäßig abgedreht, so halten sich die Spurkränze in der Mitte, ohne zur Seite anzustreifen, da bei der conischen Form die Radkränze in Folge der Schwere



der Wagen dahin streben, auf gleichem Durchmesser zu laufen, und diese Gleichmäßigkeit immer wieder von selbst herstellen, sobald ein Schwanken eintritt. Um die Schwankungen durch An- und Ablaufen der Radkränze auf den Schienen möglichst zu verhindern, neigt man letztere ein wenig nach innen. In den Curven bieten conische Radkränze mit Spielraum noch Vortheile dar, welche wir sogleich bei den Widerständen näher betrachten werden.

Damit die Wagen hinlängliche Stabilität haben und die Räder auch bei der größten Geschwindigkeit ihre Schuldigkeit thun, ist es unerläßlich, daß die Räder durchaus vertical stehen und in keiner Weise schwanken, sich neigen oder unrund laufen. Um sich ihrer Stabilität zu versichern, läßt man die Räder nicht einzeln um Axen laufen, die mit dem Wagen fest verbunden sind (wie dies bei gewöhnlichen Fuhrwerken der Fall ist), sondern man keilt die Räder auf ihre Axen fest und läßt diese in Axenbüchsen laufen, welche sie nur oberhalb umfassen und ihrerseits durch Gabeln geführt werden, die mit dem Wagen fest verbunden sind. Durch diese Disposition sind die an gleicher Axe befindlichen Räder gezwungen, sich mit den Axen zugleich umzudrehen, und so durch Vermittelung der Gabeln die Wagen vorwärts zu führen, wodurch allerdings mancherlei Nachtheile entstehen.

Ohne auf die Construction der Wagen näher einzugehen, läßt sich doch im Allgemeinen übersehen, daß die Widerstände, welche bei Bewegung von Wagen auf Eisenbahnen von der Zugkraft zu überwinden sind, ihre Hauptquellen finden:

1) In der Unvollkommenheit der Ausführung der Eisenbahn an sich;
2) in der Anlage der Bahnlinie;
3) im Bau der Wagen;
4) im Luftwiderstand während der Fahrt.

Hierzu kommen 5) die Widerstände, welche speziell durch die als Bewegungsmittel benutzte Kraftmaschine selbst hervorgerufen werden.

1) Die von der unvollkommenen Ausführung der Eisenbahn verursachten Widerstände sind folgende. Obgleich die Oberfläche der Schienen

ziemlich glatt ist und durch den Gebrauch, durch Druck, Reibung und Schleifen sogar immer glätter werden sollte, so hat doch die Erfahrung gezeigt, daß sie umgekehrt durch den Gebrauch rauher und uneben werden. Diese Unvollkommenheit liegt theils im Material, theils in der Fabrikation der Schienen durch Walzen. Ist die Schiene, welche aus einzelnen Bändern zusammengeschweißt wird, nicht vollkommen gleichförmig durchgearbeitet, so nutzt sie sich durch den Gebrauch nicht gleichmäßig ab. Das Eisen wird schiefrig, einzelne Bänder werden abgedrückt, es entstehen Splitter, Vertiefungen und Ausbiegungen. Man könnte die Uebelstände allerdings heben, wenn man polirte Schienen aus Gußstahl anwenden wollte, doch treten hierbei ökonomische Rücksichten hindernd in den Weg. Schon das Verstählen der Schienenbahn, das man in neuerer Zeit versucht hat, verursacht eine bedeutende Vermehrung der Ausgaben. So wird man immer innerhalb gewisser Grenzen bleiben müssen, welche theils durch das Material und die Fabrikation, theils durch den Kostenpunkt gesteckt sind, und die Vollkommenheit der Eisenbahn dauernd beschränken werden *).

Eine fernere Widerstandsquelle ist in der Bahnlinie gegeben, wenn die Schienen nicht geradlinig sind. Sie können theils während der Fabrikation verbogen und ungenau gerichtet sein, theils durch Temperaturwechsel und durch Stöße verbogen werden. Der Mangel einer gleichmäßigen und sorgfältig gelegten Spurweite verursacht ebenfalls Widerstand, namentlich wenn die Krümmungshalbmesser nicht genau eingehalten oder die Schienen, anstatt nach denselben gebogen, nur im Polygon geradlinig an einander gefügt werden. Eine Ungleichheit der Spurweite kommt wohl in der Praxis nicht mehr vor.

Dagegen ist nicht zu vermeiden, daß am Schienenstoß (wo 2 Schienen zusammentreffen) Ungleichheiten entstehen, welche zur Widerstandsquelle werden. Da wegen der Verlängerung der Schienen durch die Wärme zwischen je 2 Schienen ein Zwischenraum bleibt, so verursacht dieser schon fortwährende kleine Stöße **). Es ist ferner unmöglich, die Schienen mathematisch genau gegenüber zu stellen, so daß sie bald horizontal, bald vertical gegen einander verschoben sind. Dies ist nicht zu ändern, so lange man eine billige und einfache Verbindung am Schienenstoß anwendet, wogegen eine complicirte Verbindung, wie sie die Engländer in neuerer Zeit anwenden, zu theuer wird.

Die Schienenlage bietet somit eine ganze Reihe von kleinen Widerständen dar, welche dadurch nachtheilig werden, daß sie, oft wiederkehrend, sich summiren. Sie sind der Grund zu den Stößen, welche die Räder, Axen und Wagen nach und nach in dauernde Vibration versetzen. Dadurch wird zunächst die Festigkeit und Dauer der Räder und Axen geschwächt, und somit die Sicherheit gefährdet ***).

---

*) Eine Grenze der Anwendbarkeit der Eisenbahnen ist auch durch die Schwere der Locomotiven gesetzt, die nicht über ein gewisses Maß reichen kann, ohne die Schienen zu zerdrücken. Da aber diese Schwere bei wachsenden Steigungsverhältnissen zunehmen muß; so ist damit zugleich eine Grenze für die Steigungen gesetzt. Die Gründe dafür siehe im Artikel Locomotive.

**) Man hört diese ganz regelmäßig wiederkehrenden Stöße namentlich bei langsamen Fahren. Sie geben der Wagenbewegung einen bestimmten Rhythmus, der um so deutlicher und bestimmter, je schlechter die Construction der Bahn und der Wagen ist.

***) Die Ursache der gefährlichen Axenbrüche und die Erforschung der Mittel, sie zu verhindern, ist noch immer ein Gegenstand vielfacher Untersuchung. Die Frage ist noch nicht

Anderseits geht damit ein Theil der lebendigen Kraft des Wagenzuges verloren. Die Zugkraft wird in jedem Augenblick geschwächt, und der Train bedarf daher eines fortwährenden starken Nachtriebes, den die Locomotive liefern muß. Man hat es hier mit lebendigen Kräften zu thun, welche direct mit der Größe der Masse und mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wachsen und sich zunächst durch Geschwindigkeitsverlust äußern, der zum Schaden der einzelnen Theile in diese übergeht, um sie durch Molecularerschütterungen zu zerstören. Nennen wir Q das Gewicht des Wagenzuges, so ist $\frac{Q}{2g}$ die Masse desselben. Bezeichnen wir ferner mit V die Geschwindigkeit des Zuges, mit $\mathfrak{B}$ den Coefficienten für die Vollkommenheit des Baues und mit $\mathfrak{A}$ eine Constante, so ist der allgemeine mathematische Ausdruck für die Summe W aller dieser Widerstände,

$$(1) \quad W = \mathfrak{B} \cdot \frac{Q}{2g} \cdot V^2 \Sigma \mathfrak{A}.$$

2) Widerstände durch die Anlage der Bahnlinie. Eine gerade und horizontale Bahnlinie verursacht keinen Widerstand, aber wir wissen bereits aus der Betrachtung der Bedingungen des Unterbaues, daß Krümmungen und Steigungen der Bahnlinie, die nicht zu vermeiden sind, einen bedeutenden Widerstand verursachen. Die Ursache desselben haben wir hier noch näher zu untersuchen.

a) Durch die Krümmungen erhalten wir drei Widerstandsquellen. Nämlich:

α) Jeder Wagen strebt vermöge seines Beharrungswiderstandes geradlinig vorwärts zu gehen. Daran hindern ihn aber die Spurkränze, welche ihn zwingen, der Krümmung der Bahn zu folgen. Die Locomotive muß die Wagenkette in der Curve fortschleifen und drückt durch den schiefen Zug die Wagen nach auswärts. Es ist offenbar, daß dadurch eine Reibung der äußeren Spurkränze an den Schienen entstehen muß. Die Größe dieser drückenden Kraft wird durch die Resultirende ausgedrückt, welche durch das Zusammenwirken der zwei geradlinigen Kräfte (der Zugkraft der Locomotive und der Trägheit des Wagens) entsteht, die unter einem bestimmten Winkel zusammentreffen. Die Größe dieses Winkels hängt von dem Krümmungshalbmesser der Bahn ab und ist um so bedeutender, je enger die Curve gezogen ist. Die Größe der Resultirenden ist aber unabhängig von der Geschwindigkeit der Bewegung. Dieser Verlust wiederholt sich an jedem Wagen, wächst also direct mit der Anzahl der Wagen.

β) Wie die Wagen durch den schiefen Zug in der Curve nach auswärts gedrückt werden, so werden sie auch durch die Centrifugalkraft nach außen getrieben. Die Stärke dieses Druckes wächst mit der Geschwindigkeit des Wagenzuges. Ist die Geschwindigkeit auch mäßig, so werden doch die Räder bei starken Krümmungen durch die Centrifugalkraft so weit nach außen getrieben, daß der

---

gelöst, doch kann man in der Hauptsache als constatirt annehmen: daß die Struktur des Eisens durch die fortwährenden rhythmischen Molecular-Erschütterungen sich ändert; daß die Vibrationen sich an gewissen Stellen summiren, und da sie keine genügende Ableitung finden, an der Zerstörung des Materials arbeiten und so die Axenbrüche, die fast immer an denselben Punkten erfolgen, hervorrufen. Siehe d. Art. Festigkeit.

Spurkranz der äußeren Räder an den Schienen längs der ganzen Curve hinschleift. Ist die Geschwindigkeit aber sehr bedeutend, so kann sogar das Rad in der Richtung der Tangente der Krümmung fortgetrieben, der Spurkranz über die Schienen gehoben und der Wagenzug aus dem Gleise gehoben werden. Daraus folgt, wie nöthig und wichtig es ist, in den Curven möglichst langsam zu fahren und starke Krümmungen überhaupt zu vermeiden. Die Centrifugalkraft f in einer Curve vom Halbmesser ϱ, bei einer Geschwindigkeit V des Wagens vom Gewicht Q ist

$$(2) \quad f = \frac{Q}{2g} \cdot \frac{V^2}{\varrho}.$$

Wenn z. B. die Geschwindigkeit der Bewegung 20 engl. Meilen per Stunde oder 29,3 Fuß per Secunde und der Krümmungshalbmesser 500 engl. Fuß beträgt, so wäre die Centrifugalkraft

$$f = Q \cdot \frac{(29,3)^2}{33 \cdot 500} = {}^1/_{19}\,Q,$$ d. h. $^1/_{19}$ von dem Gewichte des Wagens. Dieser Druck summirt sich mit dem unter α) angegebenen und vermehrt dadurch nicht nur die Reibung, sondern auch die Gefahr bei schneller Bewegung.

γ) Wenn ein Bahnwagen sich auf einer Curve bewegt, so hat das auf der äußeren Schiene der Krümmung fortrollende Rad nothwendig einen größeren Weg zu durchlaufen, als das auf der innern Schiene fortrollende. Die Räder müßten demnach mit verschiedener Geschwindigkeit laufen. Da nun aber die beiden Räder einer Axe an diese festgekeilt sind, so kann der Weg, den das innere Rad durchläuft, nicht kleiner sein, als der des äußern, wofern letzteres nicht um die Differenz beider Wege fortgezogen wird, ohne sich zu drehen, oder um ebenso viel zurückrollt. Dadurch entsteht ein Schleifen und Hemmen der Räder, so wie ein gegenseitiges Verwinden der Axen. Dies verursacht bedeutende Reibung, einen Widerstand, der dem Druck entspricht, mit welchem die Räder auf die Bahn gepreßt werden, und sich nach dem Verhältniß $\frac{e}{\varrho}$ zwischen der Spurweite und dem Krümmungshalbmesser der Bahn richtet.

Um diesen 3 Uebelständen möglichst zu begegnen, hat man (so lange man die Räder auf den Axen festkeilt und nicht jedes Rad mit einer eigenen Axe versieht) zwei hauptsächliche Mittel: Die conische Form der Räder, verbunden mit einer schiefen, nach innen geneigten Stellung der Schienen und die Erhöhung der äußeren Bahnschienen.

Schon die conische Form der Radkränze ist zur Beseitigung der Nachtheile hinreichend, wenn der Grad der Krümmung gewisse Grenzen nicht überschreitet und beide Schienen genau in einer Horizontalebene liegen. Die Centrifugalkraft treibt den Wagen gegen die äußere Schiene. Je größer diese Seitenverrückung wird, auf einem desto größerem Kreisumfange muß bei conischer Form der Radkränze das äußere Rad, auf einem desto kleineren das innere Rad fortrollen. Beide Räder erhalten somit verschiedene große Wälzungskreise. Das äußere Rad hat folglich einen größeren Weg mit seinem größeren Umfange zu durchlaufen und der Wagen zeigt von selbst das Bestreben, sich nach der Richtung der Bahnkrümmung zu bewegen.

Diese Verhältnisse müssen genau berechnet werden und sind für jede Curve eine andere. Man nimmt bei jeder Eisenbahn die stärkste vorkommende Krümmung als Grundlage, wonach die Stärke der Abschrägung der Räder bestimmt wird.

Die durch die conische Radform hervorgerufene Ungleichheit der Wagenräder wird zugleich die Ursache einer Centripetalwirkung. Diese Centripetalkraft ist der Kraft gleich, welche dadurch entstehen würde, wenn man die Räder zwingen wollte, geradlinig vorwärts zu gehen, anstatt sie ihrem Bestreben zu überlassen, sich um den Mittelpunkt im Kreise zu bewegen, welcher die Spitze des Kegels bildet, von dem die beiden Räder mit ihren verschiedenen Durchmessern rechtwinkliche Querschnitte sind. Fällt nun die Spitze dieses fingirten Kegels mit dem Mittelpunkte der Bahncurve zusammen und hat die Seitenverrückung der Wagenräder in der Curve dabei ihr Maximum erreicht, ohne daß ein Schleifen des Spurkranzes stattfindet, so ist offenbar kein Bestreben mehr vorhanden, daß der Wagen aus den Schienen kommt oder Reibungen entstehen. Diese Bedingungen sind erfüllt, wenn

$$(3) \quad \lambda = \frac{a \cdot e \cdot D}{4 \cdot \varrho}$$

wird, wobei λ die Seitenverrückung des Wagens, $\frac{1}{a}$ die Neigung oder Abschrägung des conischen Radkranzes, e die Breite der Bahn und D den ursprünglichen Raddurchmesser ohne Seitenverrückung, ϱ wie früher den Krümmungshalbmesser der Bahncurve bedeutet.

Nun ist gewöhnlich $\frac{1}{a} = \frac{1}{7}$, $e = 4{,}7$ Fuß, $D = 3$ Fuß und λ soll nicht mehr als $^1/_2$ Zoll $= 0{,}0417$ Fuß betragen, woraus folgt, daß

$$\varrho = 592 \text{ Fuß ist.}$$

Man kann für diese Verhältnisse also Curven mit 600 Fuß Halbmesser construiren, ohne daß der Spurkranz die Räder der Schienen berührt. Dabei ist aber vorausgesetzt, daß die Schienen genau horizontal liegen. Dies ist jedoch streng mathematisch nie der Fall, weshalb man der Sicherheit wegen einen Krümmungshalbmesser von 1000 Fuß als Maximum annimmt.

Hat man kleinere Halbmesser nöthig, so muß man zu dem zweiten Mittel greifen, um die Wirkung der Centrifugalkraft möglichst aufzuheben und zugleich zu verhüten, daß die Spurkränze an den Schienen schleifen. Man legt die äußere Bahnschiene höher als die innere, wodurch die Bahn in der Richtung ihrer Breite zu einer geneigten Ebene wird. Dadurch werden die Wagen vermöge der Schwere nach innen getrieben, während die Centrifugalkraft nach außen aufwärts treibt, und man richtet es so ein, daß beide Kräfte ins Gleichgewicht kommen, ohne daß ein Schleifen der Spurkränze eintritt. Da die Seitenverrückung von $^1/_2$ Zoll aber immer benutzt werden muß, so braucht bloß die Differenz zwischen der Centrifugalkraft und der, der größten Seitenverrückung entsprechenden, Centripetalkraft durch die Schwere aufgehoben zu werden.

Ist e die Breite der Bahn, V die Geschwindigkeit Wagens, ϱ_1 der, der größten Seitenverrückung der Wagen entsprechende, Krümmungshalbmesser der

Bahn und ϱ der verlangte kleinere Krümmungshalbmesser, so ist die erforderliche Erhöhung y der äußeren Bahnlinie über der innern

$$(4) \quad y = e \cdot \frac{V^2}{2g}\left(\frac{1}{\varrho} - \frac{1}{\varrho_1}\right).$$

Setzt man für ϱ_1 den bereits gefundenen Werth von 1000 Fuß, e = 4,7 F. und 2 g = 33 engl. Fuß, so läßt sich für jeden Curvenhalbmesser ϱ die erforliche Erhöhung y der Bahnschiene finden, um der Centrifugalkraft das Gleichgewicht zu halten. Fährt der Zug nicht mit der Geschwindigkeit V in der Curve, welche man bei der Berechnung angenommen hat, so werden die Räder durch die Schwere nach innen, statt nach außen getrieben, wodurch kein Unfall entstehen kann, aber die Reibung vermehrt wird, weil das früher erwähnte Schleifen der Räder in der Curve eintritt. Es wird also fast immer in den Krümmungen eine Zunahme des Widerstandes, trotz der genommenen Maßregeln stattfinden. Alle deshalb vorgeschlagenen sinnreichen Gegenmittel zur Aufhebung des Widerstandes haben den Zweck, die Bewegung auf den Normalfall einer geradlinigen Bahn zurückzuführen *).

b) Widerstand auf der geneigten Ebene oder Rampe.

Dieser Widerstand ist lediglich eine Function der Schwere und unabhängig von der Geschwindigkeit, obgleich er diese indirect verringert. Wenn ein Körper auf einer schiefen Ebene sich bewegen soll, so wird die, stets in verticaler Richtung auf ihn wirkende, Schwere Q in zwei Kräfte zerlegt, wovon die eine (Q . cos α, wenn der Neigungswinkel α ist) auf der Ebene senkrecht steht und auf diese drückt, während die andere der geneigten Ebene parallel ist und der Körper auf dieser abwärts zu ziehen sucht. Diese Kraft, welche durch Q . sin α ausgedrückt wird (wenn Q das Gewicht des Körpers und α die Neigung der Bahn bezeichnet), nennt man auch die relative Schwere. Wenn sich also ein Wagenzug auf einer schiefen Ebene bewegen soll, so muß die Zugkraft diese relative Schwere und noch außerdem die eigene Reibung der Wagen überwinden können. Wenn dagegen die bewegende Kraft den Wagenzug eine geneigte Ebene hinabbewegt, so ist zu dieser Bewegung nur eine Kraft erforderlich, welche so groß (oder etwas größer ist) als der Unterschied zwischen der eigenen Reibung der Wagen und der relativen Schwere, weil diese letztere Kraft alsdann in demselben Sinne wirkt, als die bewegende Kraft.

Um die relative Schwere zu erhalten, braucht man, wie schon oben erwähnt, nur das Gesammtgewicht durch den Bruch zu multipliciren, welcher die Neigung der Ebene praktisch ausdrückt. Wie gering der Reibungswiderstand auf der Eisenbahn sei, ist schon ausführlich besprochen, weshalb die Gewichts- oder Zugvermehrung durch die Steigungen um so bedeutender erscheint. Bei einem Wagenzug von 200 Tonnen beträgt z. B. die Zugkraft auf horizontaler Bahn wegen der Reibung höchstens $^1/_{200}$. 200 = 1 Tonne. Für eine Steigung von $^1/_{200}$ beträgt aber

*) Die analytische Entwickelung der Widerstände rc. in Krümmungen, siehe in Pambour, theoret. prakt. Handb. über Dampfwagen, übers. von Schnuse. Cap. XVIII. S. 323 ff. — Vergl. ferner: Brunkow, prakt. Handb. zur Bestimmung der Curven. Berlin 1846, so wie die Schriften von Olivier: mémoire sur le système des courbes. Paris 1836; und Olivier, de la cause du déraillement des wagons dans les courbes. Paris 1846.

die Zugkraft zur Ueberwindung der relativen Schwere von 200 Tonnen ebenso viel, als die Reibung, 1 Tonne, so daß der Widerstand bereits verdoppelt ist. Dies ist deshalb von großer Bedeutung, weil die Zugkraft der Locomotive überhaupt nicht groß ist und der Hauptvortheil der Locomotiven mehr darin besteht, daß sie ihre Zugkraft bei großer Geschwindigkeit ausüben. Verlangt nun ein Widerstand auf der Bahn eine bedeutende Vermehrung der Zugkraft, so nimmt die Geschwindigkeit ebenso rasch ab, und kann bei Steigungen, die man mit Pferden noch überwinden könnte, bereits Null werden, da die Reibung der Triebräder auf der Bahn sehr gering ist. Man muß diese Reibung in solchen Fällen durch bedeutende Gewichte vermehren, welche wiederum den Schienen Nachtheil bringen.

Ueberdies hat bei Steigungen die Locomotive ihr eigenes Gewicht zu überwinden, das bei horizontalem Zug kaum in Betracht kommt. Ist daher allgemein Q das Gewicht des Wagenzuges in Bruttotonnen mit dem Tender, q das Gewicht der Locomotive, f die Reibung der Wagen für die Tonne, in Pfunden ausgedrückt, und s die relative Schwere von 1 Tonne auf der geneigten Ebene, in Pfunden, so ist, wenn $\frac{1}{e}$ das Verhältniß der Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Länge, d. h. die Steigung ausdrückt und 1 Tonne = 2240 engl. Pfund angenommen wird, die relative Schwere einer Tonne

$$s = \frac{2240}{e},$$

die Reibung der Wagen $= f.Q$
und die gesammte relative Schwere $= s\,(Q + q)$.
Je nachdem der Zug sich auf der Ebene auf- oder abwärts bewegt, ist also der Totalwiderstand desselben in Pfunden

$$(5) \quad W = (f \pm s)\,Q \pm s.q,$$

worin + der aufsteigenden und — der absteigenden Wagenbewegung entspricht.

Wegen der weiteren Untersuchungen über die geneigten Ebenen müssen wir auf technische Werke und namentlich auf Pambour's Abhandlung verweisen *). Wegen der Geschwindigkeit der Locomotiven auf den Rampen siehe den Artikel Locomotive **).

3) Widerstände durch den Bau der Wagen. Diese Widerstände zerfallen in die an den Axen mit den Reibungswiderständen, und in die am Radumfange (Wälzungswiderstand und Stöße).

Diese Widerstände können nur erschöpfend behandelt werden, wenn man in die Construction der Wagen näher eingeht. Dazu ist aber hier nicht der Ort. Wir müssen uns daher damit begnügen, die Nachtheile der Wagenconstruction nur anzudeuten ***).

---

*) Theoret. prakt. Handb. über Dampfwagen, übers. von Schnuse. Cap. XVII. S. 291 ff.

**) Vergl. u. A. Wiebe, geneigte Ebenen mit Locomotivenbetrieb. Berlin 1842, und Negrelli, die Eisenbahnen mit Anwendung &c. über Anhöhen. Wien 1842.

***) Eine sehr scharfe, aber in vieler Hinsicht gerechtfertigte Kritik der Eisenbahnwagen liefert Romuald Bozek in seiner Schrift: „Das falsche und gefährliche System der gegen-

a) Widerstände durch die Axen.

Für eine vollkommen geradlinige Bahn genügt die Construction vollkommen, vermöge der man die Axen, auf welcher die Räder festgekeilt sind, an dem Rahmen der Wagen so durch Mitnehmer befestigt, daß das Ganze ein System bildet. Man bringt unter den Wagen 2, 3 bis 4 Axen an, und theilt sie darnach in 4rädrige, 6rädrige und 8rädrige u. s. f. Bei Krümmungen stellt sich aber auch hier ein bedeutender Nachtheil heraus, welcher zu einem neuen Widerstande Ursache ist. Dieser besteht darin, daß die beiden Axen jedes Wagens zu einander parallel sind, während sie nach der Seite des Krümmungshalbmessers convergiren und ihre Verlängerungen sich im Curvenmittelpunkte schneiden müßten, wenn sich die Räder in der Krümmung sollten frei bewegen können. So lange man nur Krümmungen betrachtet, deren Halbmesser 1000 Fuß und darüber beträgt, kann dieser Umstand ganz außer Acht gelassen werden. Bei schärferen Krümmungen dagegen drängen nothwendig zwei Räder gegen die Bahn herein, zwei Räder aus den Schienen heraus, weil sie sämmtlich nicht im Kreisbogen, sondern in der entsprechenden Sehne vorwärts laufen wollen. Dieser Nachtheil tritt um so stärker hervor, je länger der Wagen ist, d. h. je mehr Axen ohne Gliederung in paralleler Richtung angebracht sind, und je stärker im Verhältniß zur Wagenlänge die Krümmung ist. Sobald unter einem Wagen nur 2 Axen angebracht sind, die nicht sehr weit entfernt liegen können, entspricht das System der starren Verbindung dem Zweck noch ziemlich. Achträdrige Wagen aber, mit 4 Axen, sollen immer gegliederte Axensysteme haben, d. h. je 2 und 2 Axen sollen sich auf einem besonderen Gestell befinden, das für sich unter dem Wagen auf einem Bolzen drehbar ist, so daß jedes System sich der Curve entsprechend stellen kann. Dieses amerikanische Wagensystem ist vollkommen ausreichend für Curven von mäßigem Halbmesser. Man ist in Frankreich, in der Schweiz und in Oesterreich noch weiter gegangen und hat versucht, jede Axe für sich stellbar zu machen, so daß ein vierrädriger Wagen ein zweigliedriges, ein achträdriger ein viergliedriges Axensystem vorstellt.

Namentlich hat Arnoux ein ziemlich complicirtes System aufgestellt, das er „Système de waggons articulés" genannt und auf der Bahn von Paris nach Sceaux angewendet hat *). Die Axen verstellen sich dabei gegenseitig selbst, vermittelst Ketten und Scheiben, so daß sich die Räder allerdings der Curvenform vollkommen anschließen. Allein einestheils ist das System zu complicirt und deshalb gefahrbringend, da ein Versagen des Mechanismus oder ein unvorhergesehener Stoß den ganzen Zug in Unordnung bringen kann. Andererseits werden so leicht verstellbare Axen sich nicht nur nach der Curve, sondern auch nach jedem andern Hinderniß verstellen, welches auf der Bahn nicht zu vermeiden ist, und so namentlich an den Uebergangs- und Ausweichstellen gefährlich sein.

---

wärtigen Eisenbahnwagen und ihre Verbesserungen, erläutert von R. Božek". Leipzig 1846. R. Bamberg. Der Verfasser verfährt aber nur negativ. Er giebt an, daß er Mittel gefunden habe, die von ihm gerügten Uebelstände der bisherigen Eisenbahnwagen vollständig zu heben, giebt aber nicht an, worin seine Verbesserungen bestehen. Er hat die Erfindung geheim gehalten, die, soviel uns bekannt, auch bis jetzt noch nicht bekannt geworden ist. Wir müssen uns daher mit Anführung seiner Schrift begnügen, die nur polemischen Inhalts ist, aber von Jedem gelesen zu werden verdient, der sich für diesen Gegenstand interessirt.

*) Arnoux système de voitures pour chemins de fer de toute courbure. Paris 1840.

Bemerkenswerth bei dem Arnoux'schen System ist noch die Anbringung von Sicherheitsrollen an dem vordern Räderpaar seiner gegliederten Wagen. Es ist ein System von vier kleinen Leitrollen, welche sich unter sehr schiefem Winkel innerlich gegen die Schienen anstemmen und allerdings das Herabgleiten der Wagen aus den Schienen bei gewöhnlichen Verhältnissen verhüten, bei außerordentlichen Umständen jedoch dies ebenso wenig verhindern können, als sie anderseits nicht nur die Reibung, sondern auch die Gefahr vermehren.

b) Axenreibung. Die ganze Last des Oberbaues der Wagen mit ihrer Ladung ruht auf den Axen und zwar nur auf einem sehr geringen Theile derselben, vermittelst der Axenbüchsen und Mitnehmer, deren erstere durch Federn möglichst vor Stoß geschützt sind. Bei vollkommener Ruhe liegt also bei einem vierrädrigen Wagen $^1/_4$ des ganzen Gewichtes auf einem Axentheil von $2^1/_2$ bis 4 Zoll Länge, den man den Zapfen nennt. Diese Zapfen werden so lang als immer möglich gemacht, damit der Druck sich auf eine große Fläche vertheilt und die Zapfen sich möglichst gleichmäßig und rund abnutzen. Die Axenbüchsen selbst haben eine ziemliche Beweglichkeit, die Verbindung ist nicht steif, so daß die Axen wie in Kugellagern sich nach allen Seiten etwas bewegen können. Dies ist nur zulässig, weil eine starre Verbindung der Räder mit der Axe selbst vorhanden ist. Hätte jede Axe nur 1 Rad zu tragen, so wäre diese Beweglichkeit der Axenbüchsen, welche vor Stoß schützen soll, nicht vortheilhaft, sondern gefährlich.

Der Durchmesser der Zapfen muß dem Druck auf denselben entsprechen und ist der Quadratwurzel aus dem Druck proportional, den wir mit P bezeichnen wollen. Ist nun der Reibungscoefficient f, so wird die Reibung an der Axe durch P . f ausgedrückt, die als Kraft gedacht werden kann, welche das Rad an seiner Bewegung hindert und beim Vorwärtsschreiten desselben in entgegengesetzter Richtung wirkt. Der Axenhalter und Mitnehmer des Wagens soll aber das Rad vorwärts ziehen, und dies geschieht durch einen horizontalen Zug von der Größe K, welche die Locomotive liefern muß. Wäre der Widerstand P . f nicht vorhanden, so bedürfte es auch der Zugkraft K nicht, die an dem Hebelsarm $\frac{D}{2}$ wirkt, wenn D den Durchmesser des Rades bedeutet, ebenso wie die Reibung P . f am Hebelsarm $\frac{d}{2}$ thätig ist, wenn d der Durchmesser des Zapfens ist. Wir haben also die Gleichung zwischen Kraft und Widerstand

$$K \cdot \frac{D}{2} = P \cdot f \cdot \frac{d}{2}$$

oder

$$(6) \quad K = P \cdot f \frac{d}{D}.$$

Daraus ersieht man, daß, je größer die Differenz zwischen d und D, desto geringere Zugkraft erforderlich ist. Da aber der Durchmesser d durch den Druck P bestimmt ist und der Durchmesser D wegen der Wagenconstruction nicht zu groß gemacht werden kann, so wird man immer nur mittlere Verhältnisse erhalten. Gewöhnlich ist $\frac{d}{D} = \frac{1}{14}$, d. h. das Rad erhält einen 14 Mal größern Durchmesser als der Zapfen, und f ist sehr klein, weil die Zapfen glatt und gut ge-

schmiert werden. Man kann $f = \frac{1}{16}$ im Minimum annehmen, so daß die der Reibung entsprechende Zugkraft im Maximum zu

$$K = \frac{P}{224}$$

angenommen werden kann, während nach neueren Versuchen oft K nur zu $\frac{P}{500}$ gefunden worden ist.

Bei verständiger Anordnung ist es gleich gut, ob man viel oder wenig Zapfen hat. Nimmt man nur 4 Zapfen, so müssen diese stärker und die Räder größer werden, nimmt man mehr Zapfen, so werden diese kleiner und erhalten auch kleinere Räder, so daß sich der Vortheil compensirt, da die Reibung hier für viele oder wenige Zapfen dieselbe bleibt.

Weil aber die Axenreibung der Hauptwiderstand der Wagen ist, so fragt es sich, ob man nicht durch Frictionsrollen ꝛc. die Reibung noch vermindern könnte. Dies wäre aber nur dann vortheilhaft, wenn die Bahn horizontal und geradlinig liefe. Da aber selbst das günstigste Terrain doch immer Steigungen und Krümmungen hat, so ist der Vortheil nicht bedeutend. Die Gründe dafür gehören nicht hierher *).

c) Widerstände am Radumfange.

Daß der Reibungswiderstand auf Eisenbahnen fast Null sei, ist schon im Eingang des Artikels dargelegt. Da der Gesammtwiderstand der Wagen nach vielfachen Versuchen zwischen $\frac{1}{200}$ und $\frac{1}{500}$ der Belastung schwankt, und da man weder in den Versuchen noch in dem Bau der Wagen die Reibungswiderstände der Zapfen und Radumfänge trennen kann, so ist die theoretische Bestimmung des Wälzungswiderstandes für sich auch ganz ohne Nutzen. Hinsichtlich der Widerstände ist die bestehende Verbindung zwischen Rad und Axe sehr unvollkommen, hinsichtlich der Einfachheit des Baues aber sehr vortheilhaft.

Um die Wagen in ihrem Laufe entweder bei vorkommenden Unfällen oder bei der Ankunft auf Stationen aufzuhalten, vermehrt man die Reibung der Räder absichtlich, indem man die rollende Reibung in gleitende Reibung durch die Bremsen verwandelt. Dies sind hölzerne Backen, welche an den Radumfang festgedrückt werden und dadurch die Reibung so vermehren, daß die Räder festgehalten werden und auf den Schienen zuletzt nur noch fortgleiten, nicht mehr rollen. Reicht diese bedeutende Reibung noch nicht aus, wie z. B. auf schiefen Ebenen, wo die Wagen durch den Fall eine beschleunigte Bewegung erhalten, so bringt man besondere Bremswagen an, welche zwischen ihren Rädern Balken tragen, die auf die Schienen herabgedrückt werden, so daß eine viel längere Reibungsfläche mit stärkerem Druck entsteht. Der Druck kann dabei so vermehrt werden, daß die Räder von den Schienen abgehoben werden und die Wagen auf den Bremsstücken, wie auf Holzschleifen, hingleiten.

---

*) Siehe d. Art. Locomotive und Reibung.

Das Bremsen ist den Wagenrädern begreiflicherweise sehr nachtheilig, weil die Räder sich durch das Schleifen ungleichartig abnutzen. Es entsteht dadurch zugleich Erhitzung, welche den Axen schädlich ist, eine Verletzung der Räder selbst und der Bahnschienen. Aber auch ohne Bremsen entsteht ein Schleifen der Räder, sobald dieselben nicht vollkommen gleichen Durchmesser haben. Dies ist, wie wir erfahren haben, zunächst bei Curven fast immer der Fall, wodurch nicht nur Abnutzung, sondern auch Kraftverlust entsteht. Obgleich nun die Räder anfangs einen vollkommen gleichen Durchmesser haben, so ist doch nicht zu vermeiden, daß durch die Curven und das Bremsen der Durchmesser entweder verschieden, oder der Umfang unrund wird, d. h. die Räder eine polygone Form erhalten, weil sie nur durch einzelne Arme mit der Axe verbunden sind. An den Stellen, wo keine Arme sind, giebt das Rad bei Stößen nach, an Armausmündungen ist aber der Stoß heftig und die Abnutzung stark. Muß man deshalb das Rad abdrehen, um die Rundung wieder herzustellen, so wird der Durchmesser kleiner und folglich muß das andere, an derselben Axe festgekeilte Rad mit abgedreht werden. Um diesen Uebelständen nach Möglichkeit abzuhelfen und wenigstens eine gleichmäßige Abnutzung der Räder zu bewirken, hat man Räder ohne Arme vorgeschlagen, deren Raum zwischen Umfang und Stabe mit Holz ausgekeilt oder mit starkem Eisenblech ausgefüttert ist 2c. *).

4) Luftwiderstand. Es ist begreiflich, daß bei einer Wagengeschwindigkeit von 10 bis 14 Meter per Secunde, oder, wie auf den englischen Expreß-Traine von 50 bis 60 Fuß, der Luftwiderstand schon bei ruhiger Luft bedeutend sein muß. Die Luft drückt zunächst auf die Stirnfläche der Locomotive, welche sich dem Widerstande entgegen bewegt. Außerdem drückt die Luft auf die Stirnfläche der Wagen, indem sie seitwärts zwischen die einzelnen Wagen hineinfährt, und ihre transversale Bewegung in eine longitudinale verwandelt werden muß. Diese Beschleunigung der Luft muß durch die Wagen geliefert werden, wodurch eine förmliche Ventilation entsteht. Sogar die breiten Radarme, welche in großer Anzahl vorhanden sind und sich sehr schnell drehen, wirken in der Gesammtheit wie Windflügel oder Ventilatoren, so daß eine bedeutende Luftcirculation entsteht, die hemmend einwirkt.

Ist die Luft bewegt, so ist der Widerstand noch größer. Ein Sturm, der dem Wagenzuge entgegen bläst, kann die Locomotive zum Stillstand zwingen. Bläst er seitwärts, so werden die Wagen an die Schiene herangedrängt und vermehren die Reibung. Der ungünstigste Fall eines Seitensturmes ist der, wenn der Sturm schräg dem Wagen entgegen bläst, und diesen, indem sich seine Kraft zerlegt, theils gegen die Schiene herüber, theils rückwärts treibt. Die genaue Bestimmung dieser Widerstände ist sehr schwierig und hier nicht statthaft **). Die Versuche von Borda ***), von Rouse und Edgeworth ****), welche mit drehender Bewegung angestellt wurden, beweisen zwar, daß der Widerstand der Luft innerhalb

*) Das Eisenbahnwesen ist so reich an constructiven Details, daß schon deren vollständige Aufzählung ein besonderes Werk erfordern würde, ohne daß man dabei noch in die Kritik und Begründung eingehen könnte.

**) Siehe d. Art. Widerstand.

***) Mémoires de l'Académie de Sciences. 1763.

****) Philosophical Transactions. 1782.

gewisser Grenzen mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zunimmt, daß aber zugleich der Widerstand der Luft bei drehender Bewegung auf die Flächeneinheit desto größer wird, je größere Flächen man anwendet. Den Grund dieser Erscheinung leitete schon Dubuat *) aus der Natur der drehenden Bewegung ab, doch hat erst Thibault **) neuerdings weit genauere Begriffe in dieser Beziehung entwickelt.

Will man sich mit der Erfahrung begnügen, daß der Luftwiderstand mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zunimmt, so hat man für diesen Widerstand im Allgemeinen den Ausdruck

$$(7) \quad W = (\mathfrak{A} . F + \mathfrak{B} . n . f)\, v^2,$$

wobei v die Geschwindigkeit, F die Stirnfläche der Locomotive, f die Stirnfläche eines Wagens, n die Anzahl der Wagen und $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ zwei Coefficienten bedeuten, welche sich nach der Beschaffenheit der Wagen und Räder rc. richten. Bei offenen Wagen ist der Coefficient $\mathfrak{B}$ größer, als bei geschlossenen Wagen.

Pambour ***) hat sich ausführlich mit Untersuchung der hierher gehörenden Verhältnisse beschäftigt. Er hat sehr ausgedehnte Versuche angestellt und zunächst für den Fall, wo sich ein Körper in ruhiger Luft bewegt, nach Borda, Dubuat und Thibault die Formel aufgestellt

$$(8) \quad W = 0{,}0011896 . \varepsilon . F . v^2,$$

wobei F die Fläche in Quadratfußen eines, sich durch die Luft und nach einer auf dieser Fläche senkrechten Richtung bewegenden Körpers, v die Geschwindigkeit in Fußen per Secunde, W den Widerstand der Luft in Pfunden und ε einen, mit der Länge des Körpers veränderlichen Coefficienten bedeutet, der folgende Werthe hat:

Für eine dünne Fläche	$\varepsilon = 1{,}43$
Für einen Würfel	$\varepsilon = 1{,}17$
Für ein Prisma, welches 3 Mal so lang, als die Seite seiner vorderen Fläche ist	$\varepsilon = 1{,}10$
Für einen 4rädrigen Personenwagen	$\varepsilon = 1{,}15$
Für einen Zug von 5 Wagen	$\varepsilon = 1{,}07$
Für einen Zug von 25 Wagen	$\varepsilon = 1{,}04$

Für einen Zug von 15 Wagen, wo $\varepsilon = 1{,}05$ wird, giebt die Formel, wenn die Geschwindigkeit der Maschine in englischen Meilen per Stunde ausgedrückt wird, den Luftwiderstand, nach Pambour, in Pfunden:

$$(9) \quad W = 0{,}002687 . F . v^2,$$

wobei man die dem Widerstand der Luft wirklich dargebotene Fläche durch eine Berechnung zu finden hat, zu welcher Pambour das Nähere angiebt.

Aus Allem ersieht man, daß das Endresultat, der Gesammtwiderstand der Eisenbahn sammt dem Zuge, sehr complicirt werden würde, wenn man denselben durch eine Formel ausdrücken wollte. Dies ist für die Praxis unnöthig. Es ist genügend, wenn die Widerstände der Art nach bekannt sind, so daß man sie gehörig schätzen, und wo möglich vermeiden kann. Der Gesammtbetrag der Widerstände

---

*) Principes d'hydraulique.

**) Expériences sur la résistance de l'air, par M. Thibault.

***) Handbuch über Dampfwagen. Cap. IV. S. 72 ff.

ist am Besten praktisch durch Versuche zu bestimmen *). Doch sind noch keine wirklich entscheidenden Versuche angestellt, die für die Gegenwart passend wären. Selbst die von Pambour können nicht in aller Beziehung als Muster dienen, und mindestens jetzt, da sie 1836 unternommen worden, nicht mehr definitiv gelten, weil seitdem im Eisenbahnwesen vielfache Verbesserungen eingetreten sind. Die Versuche müssen bei der vollen Normalgeschwindigkeit der Fahrt mit Dynamometern und allen sonstigen Hülfsmitteln gemacht werden, die man zur Bestimmung der Widerstände und lebendigen Kräfte besitzt **).

Was endlich 5) die Widerstände betrifft, welche durch die Kraftmaschine an sich hervorgerufen wird, so gehören dieselben nicht hierher, sondern in die Betrachtung dieser Kraftmaschinen selbst.

Es bleibt uns nun noch die Betrachtung der auf Eisenbahnen angewendeten Bewegungsmittel, der Motoren, übrig, über welche wir hier nur im Allgemeinen sprechen können.

Die gewöhnlichen auf Eisenbahnen in Anwendung kommenden bewegenden Kräfte sind:

1) Thierische, hauptsächlich Pferdekräfte.
2) Die Schwerkraft.
3) Feststehende Dampfmaschinen.
4) Luftdruck und
5) Dampfwagen oder Locomotiven.

1) Mit der Untersuchung des Pferdezugs auf Eisenbahnen hat sich Prechtl namentlich ausführlich beschäftigt. Wir müssen auf seine Abhandlung verweisen ***) und heben nur Folgendes hervor. Bei den Pferden kann weder eine bestimmte Zugkraft, noch eine bestimmte Geschwindigkeit überschritten werden. Ueberdies vermindert sich natürlich hier, wie bei jeder Zugkraft, der Effect im Verhältniß der Steigung der schiefen Ebenen.

Ist L_1 die Nutzlast auf der horizontalen Bahn, L die Last, welche auf der mit der Neigung $\frac{1}{n}$ steigenden Bahn aufwärts geschafft werden soll, W das Gewicht der Wagen, Z die erforderliche Zugkraft eines Pferdes für eine gewisse Geschwindigkeit v, so ist zunächst ****).

$$(10) \quad Z = 250 \left(1 - \frac{v}{10}\right)^2$$

Ferner kann man das Wagengewicht $W = 0{,}3 \,.\, L_1$ setzen, so daß, wenn $\frac{1}{u}$ die Reibung des Wagens ist, die Nutzlast auf horizontaler Bahn beträgt

*) Vergl. „Die Resultate der Experimente mit Dampfwagen auf der Great-Western-Bahn von Hawkshaw und Wood", übers. von E. Müller. Hamburg 1840.

**) Wie wir erfahren, ist Aussicht vorhanden, daß auf den sächsischen Staatseisenbahnen durch den Eisenbahndirector v. Weber Versuche angestellt werden, welche, analog den von ihm angestellten Versuchen über Reibung der Bahnwagen, entscheidende Resultate zu liefern versprechen, welche die früher gewonnenen bedeutend modificiren werden. Das Weitere siehe im Art. Locomotive.

***) Technol. Encyklop. Bd. V. Art. Eisenbahn. S. 53 ff.

****) Technol. Encykl. Bd. II. S. 55 u. 59.

$$(11)\quad L_1 = Z \,.\, u - W = \frac{Z \,.\, u}{1{,}3}.$$

Und auf der mit $\frac{1}{n}$ geneigten Bahn

$$(12)\quad L = \frac{Z \,.\, n - 600}{1{,}3} \,.\, \frac{u}{n + u},$$

wenn wir das Gewicht des Zugpferdes zu 600 engl. Pfunden anschlagen, da das Pferd seine eigene Last mit zu schleppen hat. Nun kann man annehmen, daß das Pferd auf der horizontalen Bahn mit 4 Fuß Geschwindigkeit zieht, also mit 112 engl. Pfd. Zugkraft, und daß bei der Steigung aufwärts mit der größten nützlichen Anstrengung die halbe Geschwindigkeit stattfinde, also $Z = 200$ engl. Pfd. betrage. Für $Z = 112$ und $u = 200$ wird $L_1 = 17230$ Pfd. und bei einer Steigung von $^1/_{60}$ wird für $Z = 200$, $L = 6738$ Pfd. Soll die Neigung der Bahn $\frac{1}{n}$ aber so beschaffen sein, daß die auf der Ebene fortgebrachte Last auch von demselben Pferde aufwärts gebracht wird, so ergiebt sich aus (12) daß

$$(13)\quad n = u \,.\, \frac{L + W + 600}{Z \,.\, u - L - W}$$

wird, woraus nach den eingesetzten Werthen und bei $\frac{1}{u} = \frac{1}{200}$ sich $n = 270$, also die Neigung zu $\frac{1}{270}$ ergiebt, welche nicht überschritten werden darf, wenn man keinen Vorspann nehmen will. Die Geschwindigkeit des Pferdes ist dabei die halbe von der auf horizontaler Bahn.

Bezeichnet N die Anzahl der Pferde, welche vorgespannt werden müssen, um die auf der Ebene überhaupt fortgeschaffte Last die beliebig geneigte Ebene aufwärts zu führen, so wird $N = \frac{L_1}{L} - 1$. Daraus folgt, daß bei einer Neigung der Bahn von $^1/_{30}$ für dieselbe Last 2 Vorspannpferde bei halber Geschwindigkeit erforderlich sind, so daß man ohne Kraftverschwendung die Steigung von $^1/_{30}$ nicht überschreiten soll, ein Maximum, das mit dem zusammentrifft, welches man gewöhnlich für die Neigung der Bahn mit Locomotivbetrieb aufstellt.

Ist $\frac{1}{n} = \frac{1}{u}$, so ist die Neigung der Bahn diejenige, bei welcher der Wagen mit irgend einem Gewicht beladen, die Bahn von selbst abwärts läuft, also kein Pferdezug erforderlich ist. Ist die Neigung geringer, so ist der Pferdezug auch abwärts nöthig und ergiebt sich zu

$$(14)\quad Z = 1{,}3 \,.\, L_1 \left(\frac{1}{u} - \frac{1}{n}\right) + \frac{600}{n},$$

also bedeutend geringer.

Bei einer Vergleichung des Pferdezuges mit der Locomotive ist der Gewinn, den die Locomotive durch Schnelligkeit der Beförderung giebt, höher anzuschlagen als ihre Zugkraft. Denn wenn man die Futterkosten der Pferde mit den Brenn-

material der Locomotive rc. veranschlagt, so ergiebt sich, daß für geringe Geschwindigkeit die Locomotive keine Vortheile gegen Pferdezug gewährt, daß aber der Gewinn der Locomotive gegen Pferdezug bei größerer Geschwindigkeit in starkem Verhältniß zunimmt.

Wie schnell mit der Zunahme der Geschwindigkeit auf horizontaler Bahn die Arbeitszeit der Pferde und die zu befördernde Last abnimmt, ersieht man aus 2 Versuchsreihen von Wood *) und Minard **), deren mittlere Resultate wir hier noch mittheilen wollen.

Geschwindigkeit per Secunde	Täglicher Dienst	Zugkraft	Bewegte Last	
3 Fuß	10 Stunden	109 Pfund	233 Centner	Pferde im Schritt
$11\frac{1}{2}$ Fuß	$1\frac{1}{3}$ Stunde	79 Pfund	130 Centner	Pferde im Galopp

Die erste Beobachtung ist auf den Kohlenbahnen in England, die letztere auf der Lyoner Eisenbahn an den Diligencen gemacht worden ***).

In neuester Zeit ist ein sehr sinnreiches Mittel erdacht worden, die Kraft der Pferde bei mäßiger, ihnen entsprechender Geschwindigkeit zu benutzen, um bei Eisenbahnen eine größere Geschwindigkeit der Förderung durch dieselben zu erhalten. Es ist eine Anwendung thierischer Kräfte auf Locomotiven mit Benutzung des alten Princips der Tretscheibe.

Diese Pferdelocomotive wird von dem Erfinder (Clemens Mazerano aus Pignerol in Piemont) Impulsoria genannt. Sie besteht in der Hauptsache aus einer kettenförmig zusammengefügten schiefen Ebene (Pedivella), welche sich um einen Rahmen mit geringer Reibung fortbewegt. Die Pferde, welche auf der Ebene, wie auf einer Tretscheibe aufwärts laufen, schieben dabei die Ebene unter sich fort, ohne selbst von der Stelle zu kommen. An der sich auf diese Weise nach und nach, wie eine Kette „ohne Ende" fortschiebenden Pedivella befindet sich eine Zahnstange, welche die geradlinig fortschreitende Bewegung in eine drehende durch ein Getriebe verwandelt, das auf die Axe des Treibrades der Impulsoria entweder direct oder durch Zwischengetriebe wirkt, so daß man nach Belieben entweder die Geschwindigkeit vermehren und die Zugkraft verringern oder umgekehrt disponiren kann. Auf solche Weise ist eine Geschwindigkeit von 12 englischen Meilen per Stunde zu erlangen, ohne daß deshalb die Pferde, welche auf der Impulsoria ganz bequem situirt sind, ihre Bewegung zu beschleunigen hätten. Das Fortarbeiten der solchergestalt bewegten Treibräder auf den Schienen geschieht lediglich durch Druck und Adhäsion, wie bei den gewöhnlichen Locomotiven. Die ersten Versuche wurden mit der Impulsoria auf der Londoner South-Western-Bahn gemacht. Es arbeiteten zwei Pferde 8 Stunden

*) A practical treatise on railroads by N. Wood.

**) Leçons faites sur les chemins de fer. Paris 1834.

***) Siehe ferner: Gutensohn, vergleichende Betrachtung über Eisenbahn-Anlagen und ihren Betrieb durch Locomotiv- und Pferdekraft. München 1845.

lang und bewegten die Locomotive 48 Meilen weit. Sie zogen einen Train von 30 Wagen. Der Hauptnutzen solcher Triebwerke wird sich auf Zweigbahnen herausstellen, für deren untergeordneten Betrieb die Dampfkraft immer zu theuer ist *).

2) Betrieb durch die Schwerkraft. Wenn wir hier von dem physikalischen Spielwerk, der Centrifugaleisenbahn absehen, welche nur als Curiosum zu betrachten ist, so ist der Betrieb durch Schwerkraft nur auf schiefen Ebenen möglich, deren Neigung größer als der Reibungscoefficient ist, so daß die Wagen von selbst abwärts rollen self-acting-planes. Die beladenen Fuhrwerke, welche die Rampe hinabrollen, müssen die leeren Wagen heraufziehen. Oder man wendet Wassergewichte an, wenn es sich trifft, daß auf der Höhe der Ebene sich Wasser findet, das man ansammelt und zur Fallbewegung benutzt, um beladene Wagen aufwärts zu ziehen. Dieser Betrieb ist nur bei sehr regelmäßigem Verkehr möglich und für Personentransport kaum anwendbar. Doch ist es möglich, daß eine Ausbildung dieses noch ziemlich rohen Systems der Kohlenwerke ꝛc. später zu besseren Resultaten und allgemeinerer Anwendung führen wird, als bisher geschah. Das zu bewegende Gewicht der dazu nöthigen Seile, deren Reibung und problematische Haltbarkeit, sind noch bleibende Hindernisse einer allgemeinen Verbreitung. Durch Versuche in England hat man gefunden, daß die Reibung des Seiles am Umfange seiner Leitrollen den $^1/_{20}$. bis $^1/_{24}$. des Seilgewichtes betrug. Die Reibung der Rollen ist ebenso groß **).

3) Bei dem Betriebe durch stehende Dampfmaschinen wird ebenfalls ein Seilzug mit Triebrollen angewendet, der aber nicht durch die Schwere, sondern durch eine Dampfmaschine bewegt wird, welche das Seil auf großen Trommeln auf- und abwickelt, und so den Bahnzug zu sich heranzieht oder von sich abgehen läßt. Das Princip ist das der Fördermaschinen in Bergwerken, nur daß die Förderung auf Eisenbahnen nicht in verticaler Richtung geschieht, sondern auf solchen geneigten Ebenen, welche durch Pferdezug oder Locomotiven nicht mehr ersteigbar sind und durch Gegengewichte ꝛc. nicht betrieben werden können. Die Förderung geschieht entweder durch ein Seil ohne Ende, das über Leitrollen gleitet, oder blos durch ein Seil, welches auf- und abgewickelt wird. Der Betrieb ist im Ganzen selten, weil er theuer und gefährlich zugleich ist. Die Länge der so befahrenen Ebene ist beschränkt, weil sonst das Seil so schwer wird, daß bei dessen Aufwickelung allein die ganze disponible Kraft comsumirt werden müßte.

Früher waren diese Art Rampen mehr in Aufnahme als jetzt, wo man viel stärkere Steigungen mit Locomotiven überwindet, und im vorkommenden Fall einer unvermeidlichen starken Steigung dieselbe lieber durch Serpentiren auf einer minder steilen Ebene oder durch Ueberbrückungen, selbst durch Tunnel zu umgehen sucht. Die Seilmaschinen auf Rampen werden überdies wegen ihrer Gefährlichkeit sehr selten für Personen-, sondern fast immer nur für Waarentransport angewendet.

Der Betrieb ist für den Mechaniker sehr interessant und bietet mancherlei eigenthümliche Constructionen dar. Die Handhabung der Dampfmaschine erfordert außerordentliche Sicherheit und Präcision, die Handhabung des Trains

*) The Year-Book of Facts. London 1851. p. 61.
**) Siehe d. Art. Ebene. S. 590.

verlangt besondere Sicherheitsmaßregeln, Bremswagen, Seilfänge rc. Bei Aachen und Lüttich sind für den Personentransport eingerichtete schiefe Ebenen, in England existiren noch mehrere.

Interessant ist in England der Betrieb einer ganzen, aber kurzen Eisenbahn, der London-Blackwall-Bahn, mit Doppelgleis durch ein Seil ohne Ende, welches durch mehrere stehende Maschinen fortwährend in Circulation versetzt wird. Die Stationen sind in gleichen Distanzen angebracht, so daß von allen Stationen gleichzeitig Wagen abgehen und ankommen, die nach kurzer Pause weiter gehen und so fortwährend circuliren. Alle 10 Minuten kommt ein Zug ohne sichtbares Triebwerk, nur durch das circulirende Seil bewegt, an, und macht so von 10 zu 10 Minuten die Runde auf allen Stationen.

Man hat sich früher ausführlich mit der Vergleichung des Betriebes schiefer Ebenen durch stehende Dampfmaschinen oder durch Locomotiven beschäftigt *), wobei gewöhnlich der Vortheil zu Gunsten der Letzteren ausfällt **). Wo es sich um den Vorzug des einen oder andern Systems handelt, muß die Vergleichung in dreifacher Hinsicht: in Bezug auf die Geschwindigkeit und Sicherheit der Beförderung, in Bezug auf die Betriebskosten und in Bezug auf die Anlagekosten, geführt werden.

Unter Umständen kann die Anlage stehender Maschinen dennoch den Vorrang verdienen, wie das merkwürdige und interessante Gutachten von Stephenson und Bidder ***) über die Commercial-Eisenbahn zwischen London und Blackwall bewiesen hat, wobei allerdings viel locale Fragen dazu kamen, welche den Betrieb der ganzen Bahn durch Seilmaschinen vortheilhafter machten. Dem entgegen stehen andere Erfahrungen, welche beweisen, daß die Beförderung der Lasten auf Eisenbahnen mit dem gehörigen Gefälle durch Dampfwagen im Verhältniß von 5 : 8 wohlfeiler sei, als durch Aufzüge mittelst stationärer Maschinen, sogar wohlfeiler als die durch selbstwirkende schiefe Ebenen.

Ist dennoch eine schiefe Ebene mit Aufzugsmaschine nicht zu vermeiden, so gilt die Regel, die Zuglinie dabei so kurz als möglich zu machen, damit für die erste Anschaffung und die Unterhaltung der Seile rc. das Anlagekapital möglichst gering sei, denn auch die Kraft der stationären Maschine nimmt mit der Länge der Rampe, wegen der Seilschwere, bedeutend zu ****).

4) Da der Eisenbahnbetrieb durch Locomotiven, der wichtigste und umfassendste von allen, in einem besonderen Artikel zu behandeln ist, bleibt uns nur noch die Betrachtung des Betriebes der Eisenbahn durch Luftdruck, d. h. die Betrachtung der atmosphärischen Eisenbahnen übrig, welche vor einigen Jahren so bedeutendes Aufsehen erregten. Man fand in ihnen ein Mittel,

---

*) Siehe u. A. Baader's neues System der fortschaffenden Mechanik. München 1822.

**) Bei der Ueberschreitung des Gölzschthales auf der Sächsisch-Bayrischen Eisenbahnlinie war der Betrieb durch eine doppelte schiefe Ebene, anstatt eines Viaductes im Vorschlag. Man zog aber den Bau eines mehrere Millionen kostenden Viaductes der Anlage zweier schiefer Ebenen vor.

***) Dingler's Journal. Bd. LXVIII. S. 343 ff.

****) Vergleiche: Henschel, Vorschlag zur Anwendung eines eisernen Seilzugs auf Eisenbahnen. Cassel 1833 und v. Westphalen, „über Gebirgs-Eisenbahnen mit stehenden Maschinen und Anwendung von Gegengewichten," Dresden 1843, so wie dessen: „Anwendung von Turbinen rc. auf Gebirgsbahnen." Dresden 1844.

jede beliebige Steigung mit Hülfe stehender Maschinen ohne Aufzugsseil, lediglich durch atmosphärischen Druck zu überwinden. Der Erfindung ist Genialität nicht abzusprechen, aber mehrjährige Erfahrungen reichten hin, zu beweisen, daß die Ausführung solcher Bahnen in jeder Hinsicht unpraktisch sei. Nach dem gegenwärtigen Stand der Verhältnisse ist also die atmosphärische Eisenbahn nur noch als ein Curiosum zu betrachten, welches mehr von physikalischem, als technischem Interesse ist, und wohl einen historischen und experimentellen Werth immer behaupten, aber einer wirklich praktischen Verwendung nicht mehr fähig sein wird.

Die erste Idee der atmosphärischen Eisenbahn rührt von Pinkus her, dessen schon im Jahr 1834 gemachten Versuche jedoch die gehofften Resultate nicht gaben. Einige Jahre später griffen jedoch Clegg und Samuda in Irland die Erfindung wieder auf und vervollkommneten sie so weit, daß im Jahre 1843 eine nach ihrem Princip gebaute Eisenbahn von Kingstown nach Dalkey eröffnet werden konnte.

Das Princip der atmosphärischen Eisenbahn ist an sich sehr einfach. Es ist eine Bahn, in deren Mitte zwischen den Schienen der ganzen Länge nach eine eiserne Röhre hinläuft. In dieser Röhre befindet sich ein luftdicht schließender Kolben, mit welchem die betreffenden Eisenbahnwagen in Verbindung stehen. In gewissen Distanzen befinden sich Luftpumpen, welche mit der Röhre in Verbindung stehen. Wird diese Röhre durch die Luftpumpen theilweise luftleer gemacht, so treibt der Druck der äußeren Atmosphäre den Kolben vorwärts und bewegt mit diesem zugleich den Wagenzug längs der Bahn hin. Die Luftpumpen müssen ihrer Größe wegen mit Dampfmaschinen von bedeutender Kraft getrieben werden.

Die Hauptschwierigkeit dabei ist die, eine Verbindung zwischen dem Kolben und den Wagen herzustellen, da das Treibrohr, um es luftleer zu saugen, nothwendig dicht verschlossen sein muß, während doch eine Bewegung des Zuges längs des Rohres stattfinden soll.

Man suchte diese Schwierigkeit zuerst dadurch zu heben, daß mit dem Kolben ein Seil verbunden ward, welches, so lang als das ganze Rohr, anderseits mit dem Wagenzug durch den offenen Theil des Rohrs communicirte und folglich den Wagenzug vorwärts zog, wenn der Kolben nach rückwärts getrieben wurde. Dieses Mittel war aber so widersinnig, daß man es bald aufgab. Denn man hatte dabei dieselben Unbequemlichkeiten und Kosten wie bei einer Rampe mit Seiltrieb, und außerdem noch die unangenehme Zugabe der Luftpumpe mit dem Rohre.

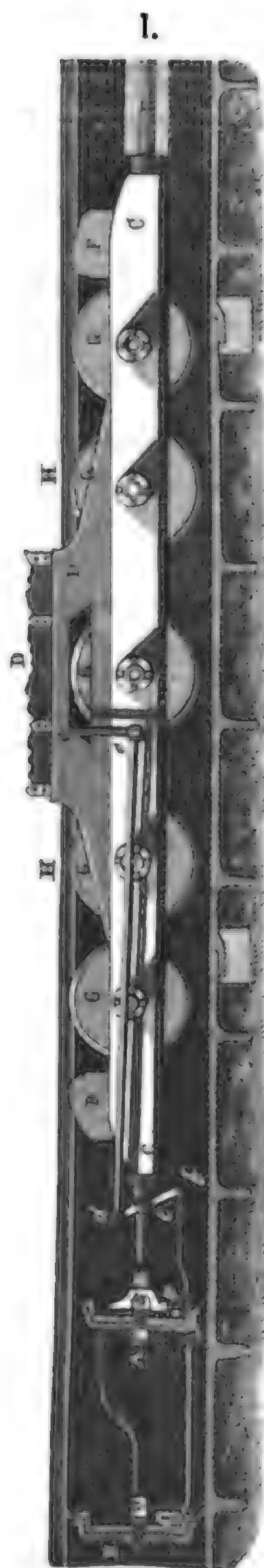
Man adoptirte daher eine andere Construction, welche nicht nur von Clegg, sondern auch auf der Eisenbahn von Paris nach St. Germain eingeführt wurde.

Der Treibkolben wurde mit dem eigentlichen Triebwagen, an welchem der ganze Zug angehängt war, auf folgende Weise verbunden. Die Röhre erhielt ihrer ganzen Länge nach oben einen Schlitz, in welchem das Verbindungsstück zwischen Kolben und Triebwagen hingleitet. Dieser Schlitz wird für gewöhnlich durch ein Lederband, vermittelst Kitt ꝛc. hermetisch geschlossen, welches somit ein continuirliches Ventil auf der Röhre bildet. Sobald der Kolben in das Rohr eintritt, wird das Lederband gehoben, aber nur an der Stelle, wo die Verbindung zwischen Kolben und Triebwagen hindurchragt. Unmittelbar hinter dieser Oeffnung wird das Band durch Rollen niedergedrückt und durch den Wagen selbst wieder festgekittet, so daß das Ventil sich successiv öffnet und schließt im Verhältniß, als der Wagenzug vorwärts schreitet. Da der Treibkolben immer ein

Stück *vor* der Oeffnung vorausschreitet, so dient die durch die Oeffnung einströmende Luft nur dazu, den Druck hinter dem Kolben auszugleichen und respective zu vermehren, während der luftverdünnte Raum vor dem Kolben unverändert bleibt.

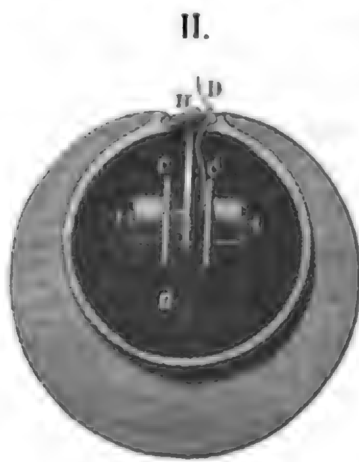
Beistehende Figur I. zeigt den Längendurchschnitt des Rohres. A ist der Kolben aus Leder, vor welchem noch ein zweiter Hülfskolben B sich befindet, welche beide vereint die, hinter ihnen befindliche, atmosphärische Luft vollkommen absperren. C ist eine, hinter beiden Kolben im lufterfüllten Raume befindliche, lange Kolbenstange, welche zur Balancirung noch ein Gegengewicht E trägt. Ein blechernes Verbindungsstück D, welches an C befestigt ist, verbindet die Kolbenstange mit dem, oberhalb befindlichen Triebwagen, der hier nicht sichtbar ist und sich von gewöhnlichen Eisenbahnwagen in der Hauptsache durch Nichts unterscheidet. Dieses Verbindungsstück ist es, welches durch den Röhrenschlitz hindurchragt und folglich das Lederbandventil H sehr wenig nur hebt. 2 Gleitstücke FF unterstützen das Ventil in seinem horizontalen Schluß vor und hinter der Verbindung D, während 5 Rollen G, G dazu dienen, das Lederband langsam zu heben und fallen zu lassen, damit kein plötzlicher Uebergang stattfindet. Die Art und Weise, wie das Ventil H gehoben wird, um das Verbindungsstück D hindurch zu lassen, so wie die mittlere Rolle G am Querstück C, zeigt der Querschnitt der Röhre in Figur II.

I.



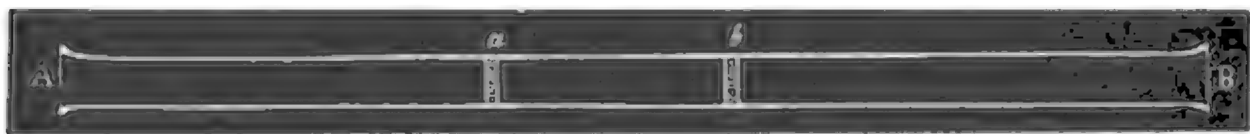
Auf der Eisenbahn von St. *Germain* betreibt man die Hauptstrecke durch Locomotiven, und nur die Rampe bei St. Germain wird vermittelst des atmosphärischen Princips erstiegen. Die Locomotive bringt den Zug bis an den Fuß der Rampe, woselbst erst der Kolben AB in das Rohr eingestoßen wird. Abwärts fährt der Zug durch seine eigene Schwere. Um in diesem Falle die Reibung zu vermindern, muß man den Kolben außer Thätigkeit setzen. Dies geschieht, indem man die Kolben vermittelst des Hebelwerkes a, b, c, d, e, f (Fig. I.), welches vom Triebwagen aus dirigirt wird, zurückschlägt, so daß sie die in der Figur punktirte Stellung annehmen, das Rohr nicht mehr abschließen und keine Reibung mehr verursachen. Diese Vorrichtung dient zugleich als *Sicherheitsvorrichtung* da, wo die ganze Länge der Bahn mit Luftdruck betrieben wird. Da nämlich der Train von einer Station zur andern unaufhaltsam vorwärts getrieben wird, muß man ein Mittel

II.



haben, den Zug bei vorkommenden Fällen vom Triebwagen aus anhalten zu können Dazu dient der Apparat, welcher, indem er die Kolben zurückschlägt, die Verbindung zwischen dem luftleeren und lufterfüllten Raum herstellt und folglich die Bewegung des Zuges augenblicklich aufhebt. Außerdem ist an dem Triebwagen, über der letzten Rolle F, noch eine Druckrolle angebracht, welche die Lederklappe von außen fest auf den Schlitz drückt. Wenn die Klappe wieder fest aufliegt, so bildet sich auf der sich öffnenden Seite eine Rinne, in welcher sich eine Mischung von Wachs und Talg befindet. Eine durch Kohlen erwärmte und an dem Wagen hinter der Druckrolle befestigte Röhre gleitet dicht über die Rinne hin, bewirkt eine Schmelzung dieser Masse und dadurch einen vollkommenen Verschluß. Dadurch ist die Treibröhre für die nächste Fahrt wieder vorbereitet.

Die theoretische Betrachtung des atmosphärischen Princips ist sehr einfach. A B sei die Röhre, welche der ganzen Bahn entlang liegt, a sei der Kolben, der sich mit



dem Terrain nach B hinbewegen soll. Nehmen wir zunächst an, daß kein Train an dem Kolben befestigt sei, so wird derselbe, während eines Hubes der Luftpumpe, durch einen Raum a b in der Röhre fortrücken, dessen Inhalt dem des Luftpumpencylinders gleich ist, und jeder folgende Hub wird ein gleiches Fortrücken in der Röhre zur Folge haben. Es ist daher klar, daß die größte Geschwindigkeit des Zuges durch das Verhältniß zwischen dem Flächeninhalte des Querschnittes der Pumpe und dem des Rohres bestimmt werde. Die Geschwindigkeit V des Luftpumpenkolbens und v des Triebkolbens müssen im umgekehrten Verhältniß der Quadrate ihrer Durchmesser D und d stehen, so daß

$$(15) \qquad v = V \cdot \frac{D^2}{d^2}.$$

In Kingstown z. B. ist der Durchmesser der Luftpumpe 67 Zoll und der der Röhre 15 Zoll. Die Geschwindigkeit des Luftpumpenkolbens ist 353 Fuß per Minute (bei circa 7 Fuß Hub und 50 Spiele per Minute), daher die Maximalgeschwindigkeit des Treibkolbens ungefähr 60 englische Meilen per Stunde beträgt.

Nehmen wir nun an, daß ein Train von gegebenem Gewicht am Kolben a befestigt sei, so ist klar, daß keine Bewegung stattfinden kann, bis die Luft vor dem Kolben hinlänglich verdünnt ist, um einen Ueberdruck auf der hinteren Seite des Kolbens zu erzeugen, welcher dem Widerstand des Trains gleich ist. Sobald dieser Ueberdruck erreicht ist, wird sich der Zug in Bewegung setzen und bei fortgesetzter Arbeit der Pumpen eine beschleunigte Geschwindigkeit annehmen, bis ein Beharrungszustand eintritt, in welchem die Geschwindigkeit nicht mehr wächst. Dies Maximum tritt ein, wenn das Volumen des von Kolben a durchlaufenen Raumes, während eines Hubes der Luftpumpe, dem Volumen der letzteren gleich ist.

Hieraus folgt, daß, sei der Zug groß oder klein, die Maximalgeschwindigkeit, die überhaupt erreicht werden kann, überall dieselbe bleibt. Nach der Schwere

des Zuges aber richtet sich der Grad der zur Bewegung nöthigen Verdünnung der Luft vor dem Kolben. Es ist deshalb von Bedeutung, zu beachten, daß, wie auch die Verdünnung der Luft vor dem Kolben sei, die Grenze der Maximal-Geschwindigkeit dieselbe bleibt, weil die Pumpe, sei die Dichtigkeit der Luft, die sie aus der Röhre zieht, welche sie wolle, immer nur eine gleiche Anzahl Cubikfuße bei jedem Hube schöpfen kann. Folglich bleibt, wenn die Bewegung des Zuges erst gleichmäßig ist, das Verhältniß zwischen den Geschwindigkeiten der beiden Kolben immer dasselbe.

Dies wären die Elemente zu einer einfachen Berechnung, wenn der Apparat in jeder Hinsicht vollkommen und die Luftpumpe im Stande wäre, bei jedem Hube ihr volles Volumen Luft aus der Röhre zu ziehen. In der Praxis ist aber keine dieser Bedingungen erfüllt. Denn abgesehen von allen Unvollkommenheiten, die beim Betrieb von Luftpumpen stattfinden, tritt noch eine bedeutende Undichtheit der auf der Röhre liegenden Klappe unvermeidlich ein.

R. Stephenson hat nun im Auftrage der Chester und Holyhead-Eisenbahn-Direction eine Reihe umfassender Versuche mit der Kingstown-Dalkey-Eisenbahn angestellt, welche den Unterschied zwischen der theoretischen Voraussetzung mit den praktischen Ergebnissen aufs Schlagendste, zum Nachtheil des atmosphärischen Systems, darthun. Diese Untersuchungen sind veröffentlicht und von v. Weber ins Deutsche übertragen worden *).

Stephenson fand zunächst die merkwürdige Thatsache, daß die Undichtheit der Röhre in gleichen Zeiten gleich groß, bei allen Pressungen also constant im Volumen sei. Eine verschiedene Verdünnung der Luft in der Röhre nimmt aber eine außerordentlich verschiedene Kraft zu ihrer Fortschaffung in Anspruch. Ueberdies muß diese Undichtheit die Geschwindigkeit des Kolbens im Verhältniß der Luftverdünnung im Rohre vermindern, da die eindringende Luft zu der ursprünglich auszusaugenden hinzuzufügen ist, und diese Beschränkung durch den Grad der Verdünnung modificirt ist, die im Zugrohre nöthig wird. Aber nicht nur das Zugrohr, sondern auch der Triebkolben ist undicht. Stephenson hat gefunden, daß bei einer Röhre von 4 Meilen Länge 30 Proc. Geschwindigkeitsverlust durch die Undichtheit der Röhre und 41 Proc. durch die des Kolbens und anderer Umstände bei der Bewegung entstehen, wobei 20 Proc. auf die Unvollkommenheit der Luftpumpe zu rechnen sind. Die oben gefundene Formel für v würde sich also bedeutend modificiren und sich im ungünstigsten Falle zu

$$v = 0{,}3 \cdot V \frac{D^2}{d^2}$$

herausstellen.

Um dieses Geschwindigkeitsresultat mit der dazu angewendeten Kraft zu vergleichen, bedurfte es einer genauen Prüfung der Dampfmaschinen. Diese ergab, daß bei einer Betriebskraft von 322 Pferden die Effectivkraft, welche

---

*) Die atmosphärische Eisenbahn, dargestellt von Robert Stephenson, aus dem Englischen von M. v. Weber. Berlin 1845.

die größte Geschwindigkeit des Zuges anzeigte, nur 150 Pferde, der Kraftverlust also 53 Procent betrug. Davon wurden 78 Pferde, oder über 50 Proc. der Effectivkraft auf die Ueberwindung des Luftwiderstandes und der Kolbenreibung verwendet, so daß nur 72 Pferde für die wirkliche Bewegung des Zuges übrig blieben, bei einer Geschwindigkeit von 35 Meilen per Stunde und für eine Belastung von 26,5 Tons.

Wenn dieselbe Betriebskraft angewendet wird, ist es gleichgültig, ob man mit einer kleinen Röhre bei hoher Luftverdünnung oder mit einer Röhre von größerem Durchmesser bei geringerer Verdünnung arbeitet. Je größer die Geschwindigkeit, desto größer der Kraftverlust, weil der Luftwiderstand sehr rasch zunimmt, so daß die auf der atmosphärischen Eisenbahn zu erlangende Geschwindigkeit nicht ohne große Nachtheile die durch Locomotiven zu erreichende übersteigen kann. Ueberdies sind die Steigungsverhältnisse für das atmosphärische System durchaus nicht gleichgültig, so daß nicht jede beliebige Steigung überwunden werden kann, ohne bedeutende Opfer an Kraft und Betriebskosten. Die Construction der Eisenbahn wird also in dieser Hinsicht nicht ökonomischer dadurch, daß das System die Planirung der Bahn etwa unnöthig macht. Bei einer Belastung von 64,7 Tons war die Geschwindigkeit nur 16,7 Meilen per Stunde. Man mußte dabei die Luftverdünnung bis auf 24,4 Zoll Barometerhöhe treiben, so daß also ein Ueberdruck von 12,2 Pfd. per Quadratzoll auf den Treibkolben entstand, folglich der gesammte Druck auf den 176,7 Quadratzoll großen Querschnitt 2155 Pfd. betrug. Die Arbeit der stationären Maschine betrug dabei 415 Pferde, wovon 253 Pferde nöthig waren, um die Luftverdünnung zu erhalten, der Train selbst zeigte aber nur eine Kraft von 96 Pferden, so daß 77 Proc. des Ganzen auf Widerstände und Verluste verloren gingen. Die Anlagekosten sind übrigens weit bedeutender, als bei gewöhnlichen Bahnen. Samuda schlug die Totalunkosten per 1 Meile für eine einfache Linie zu 32000 Thalern an, Stephenson für eine Doppellinie zu 75000 Thalern. Stephenson gab nicht nur eine Vergleichung der atmosphärischen mit der gewöhnlichen Eisenbahn, sondern auch mit Bahnen, welche durch Seil und stationäre Maschinen betrieben werden. Namentlich ist die Beantwortung der Fragen interessant *), ob die schon früher untersuchte London-Blackwall-Eisenbahn mit ihren kurzen Stationen vortheilhafter mit dem atmosphärischen System, statt mit dem bisher gebräuchlichen Seil betrieben werden könnte. Auch hier fiel die Entscheidung zum Nachtheil des atmosphärischen Systems aus.

Für Deutschland berechnete Neuerantz, daß 10 deutsche Meilen nach dem gewöhnlichen System mit allem Zubehör 2255000 Thaler kosten, nach dem atmosphärischen System aber 6320000 Thaler, während die Betriebskosten bei ersterem 360800 Thaler, bei letzterem 442200 Thaler betragen.

Diese nach den verschiedensten Seiten hin übereinstimmenden Resultate zum Nachtheil des atmosphärischen Systems überheben uns der Angabe aller der Verbesserungen, welche seit der Erfindung noch vorgeschlagen wurden.

Pilbrow stellte ein neues System auf, welches allerdings mehreren Einwürfen, nur nicht dem der Kostbarkeit der Anlage und der Kraftverschwendung

*) Die atmosphärische Eisenbahn von Stephenson und Weber. Anhang S. 48.

begegnen konnte. Es gestattet aber wenigstens einen dauerhaften und sicheren Schluß des Cylinders und gewährt den Vortheil der Wegübergänge und Bahnkreuzungen, welche das Clegg'sche System nicht zuließ. Statt des Betriebes mit verdünnter Luft schlugen Pecquier und Wheeler Betrieb mit comprimirter Luft vor *). Um die Verbindung des Treibkolbens mit dem Schleppwagen herzustellen, schlugen Jobard in Frankreich und Taylor und Conder in England sogar den Electromagnetismus vor; doch sind derartige Versuche noch ohne allen praktischen Nutzen **).

Es bliebe noch übrig, verschiedene abweichende Eisenbahnsysteme zu betrachten, die als Versuche nicht ohne Interessen sind, sich aber auf die Dauer nicht halten konnten. Dahin gehört:

1) Das Palmer'sche System oder die schwebenden Eisenbahnen. Sie bestehen nur aus einer Schienenreihe, die über dem Boden erhöht liegt und ein- oder zweirädrige Wagen trägt, deren Kasten zu beiden Seiten der Bahn herabhängen, so daß der Schwerpunkt unter der Bahnlinie liegt. Diese Bahnen sind nur für Erd- und Steinkohlentransport, beim Festungsbau in Posen 2c. angewendet worden ***).

2) Jouffroy's System mit 3 Schienenreihen und besonders construirten Locomotiven für sehr kleine Curven und steile Steigungen. Das Treibrad läuft auf der mittleren Schiene. Das System ist unzulänglich und unseres Wissens nie ausgeführt.

3) Zur Ueberwindung bedeutender Steigungen ist schon früher, wie auch in neuerer Zeit Zahnstange und Getriebe vorgeschlagen worden, um sich bergauf direct fortarbeiten zu können. Am rationellsten ist noch das Princip von Coleman in England, eine Schraube ohne Ende anzubringen, welche sich zwischen Frictionsrollen fortarbeitet, wie in einer Zahnstange. Dieser Apparat, der nur bei Steigungen in Thätigkeit sein soll, wird dadurch bewegt, daß ein zweites inneres Hülfsgleis angebracht ist, auf welchem noch 2 Treibräder für den Apparat selbst laufen, die nur in Thätigkeit kommen können, sobald das Hülfsgleis eine Veranlassung zur Rotation darbietet.

4) Ebenso wie der Druck der atmosphärischen Luft, ist auch der Wasserdruck in England von Shuttleworth vorgeschlagen worden. Das Wasser soll dabei vollkommen die Stelle der Luft ersetzen, d. h. in einer langen Fallröhre durch Ueberdruck auf einen Kolben wirken, und so den Train auf einer schiefen Ebene aufwärts drücken. Die Schwierigkeit ist nur, das Wasser so hoch zu heben, daß es durch seine Schwere den Train bewegen kann. Dazu sind Apparate und Maschinen erforderlich, welche an Kostspieligkeit denen des atmosphärischen Systems nicht nachstehen. — Unter eigenthümlichen Betriebsapparaten haben wir noch hervor.

5) Den Betrieb der Locomotiven durch den Druck der comprimirten Luft statt durch Dampfdruck, von Parsey. Die Luft wird bis 60 Atmosphären comprimirt und sodann bis 4 Atmosphären ausgedehnt. Andraud und

---

*) Mechanics Magazine. T. XLV. p. 276.

**) Die Literatur über atmosphärische Eisenbahnen ist ziemlich bedeutend. Siehe darüber den Schluß des Artikels.

***) Palmer, description of a railway on a new principle. London 1824.

Tessié du Motay *) haben sowohl dieses, als das atmosphärische System von Pecquier und Wheeler schon früher angewendet, den Betrieb durch atmosphärische comprimirte Luft nach allen Principien versucht und sogar auf der Bahn von Asnières nach Argenteuil wirklich ausgeführt. Aehnliche Vorschläge von Henschel stammen aus noch früherer Zeit **).

6) Ueber den Betrieb der Eisenbahnen durch Elektromagnetismus läßt sich noch nichts Erhebliches sagen. Es sind lediglich Versuche, die bisher an der geringen Kraft und Schnelligkeit der Wirkung dieser Apparate scheiterten.

7) Besondere Aufmerksamkeit scheinen die in neuester Zeit in Amerika aufgetauchten Luftmaschinen von Ericsson zu verdienen. Sie werden mit erwärmter Luft getrieben und daher sind diese Maschinen an sich, gegen Dampfmaschinen im Nachtheil, weil die Cylinder viel größer und schwerfälliger werden und starke Expansionen kaum zuläßig sind. Doch besteht der Vortheil darin, daß man der erwärmten Luft den größten Theil ihrer Wärme wieder durch ein Drahtnetz entzieht, wodurch die Ersparniß an Heizmaterial bedeutend wird. Die nähere Einrichtung ist noch unbekannt, doch soll sie, so weit bis jetzt bekannt, im Artikel Luftmaschine beschrieben werden ***). Das Wärme-Entziehungsprincip, dasselbe wie bei der Davy'schen Sicherheitslampe, ist in seiner technischen und physikalischen Anwendung in dieser Form neu und wichtig. Vorläufig sind diese Luftmaschinen nur für Schiffe und stehende Maschinen anwendbar, und dürften wenigstens in ihrer jetzigen Gestalt das bisherige Locomotivsystem nicht verdrängen.

Die Eisenbahnen im Allgemeinen haben aber nicht nur technisches und physikalisches, sondern auch culturhistorisches und nationalhistorisches Interesse. Deshalb mögen noch einige statistische Nachweisungen hier folgen, welche als vergleichender Anhalt dienen können, da eine weitere Ausführung die Grenzen dieses Artikels überschreiten würde.

Erst nach Beendigung des letzten Continentalkrieges und nach erfolgter Ausbildung der Locomotiven gewannen die Eisenbahnen größere Vollkommenheit und allgemeinere Anwendung. Mit dem Jahre 1825 begann eine neue Periode für die Eisenbahnen durch die Eröffnung der Stockton-Darlington-Bahn in England, der ersten für den Personenverkehr überhaupt. Dieser folgten sehr bald die Liverpool-Manchesterbahn; in Frankreich die von St. Etienne nach Andrézieux, in Oesterreich die unter Gerstner's Leitung erbaute Bahn zwischen der Donau und Moldau und in Amerika die Quincy-Boston-Bahn.

Kein Volk hat es so verstanden und vermocht, sich die Erfindung der Eisenbahnen dienstbar zu machen, als die Amerikaner. Es ist Thatsache, daß Nord-Amerika allein bedeutend mehr Eisenbahnen besitzt, als das gesammte Europa. Im Jahre 1827 wurde ihre erste unbedeutende Strecke von 3 englischen Meilen eröffnet und am 1. Januar 1852 wurden bereits 10814,5 englische Meilen = 2225 deutsche Meilen befahren; 10898,5 engl. Meilen = 2242 deutsche

*) Die comprimirte Luft als universelle Triebkraft von Andraud und Tessié du Motay 2. Auflage. Deutsch von Schmidt. Weimar 1846.

**) Henschel, neue Construction der Eisenbahnen und Anwendung comprimirter Luft. Kassel 1833.

***) Siehe u. A. Augsb. Allgem. Zeitung 1852. Nr. 298. Die Calorische oder Luftmaschine.

Meilen sind im Bau begriffen. Das Anlagecapital der fertigen Bahnen beträgt bereits 373 Millionen Dollars. Die Amerikaner nehmen an, daß im Jahre 1860 die Union circa 30000 engl. Meilen = 6172 deutsche Meilen fertiger Bahnen besitzen wird. Die Fahrpreise sind zwischen 5 und 7 Silbergroschen per 1 deutsche Meile, der Reinertrag bei einzelnen Bahnen 8 bis 10 Proc., im Durchschnitt für sämmtliche Bahnen $4^1/_2$ Proc.

England, welches nur Amerika in der Großartigkeit des Eisenbahnbetriebes nachsteht, besaß zu Anfang des Jahres 1852 eine Länge von 6928 engl. Meilen Eisenbahnen. Die Brutto-Einnahme betrug 1851 nahe an 15 Millionen Pfd. Sterl., im Durchschnitt per Meile 2163 Pfd. Sterl. Das Anlagecapital 229 Millionen Pfd. Sterl. Die Bahnen sind sämmtlich in Privathänden. Nimmt man die Betriebskosten zu 45 Proc. an, so war der Reinertrag der Bahnen nur $3^1/_2$ Proc. des Gesammtcapitals. Die durch Pferde bedienten Bergwerksbahnen sind bei der Angabe der Schienenlänge nicht mit einbegriffen. Die theuersten Bahnen sind die von London nach Blackwall und nach Greenwich, wo die deutsche Meile auf 10 Mill. und 8 Mill. Thaler zu stehen kommt. Bei der wohlfeilsten Bahn kostet die deutsche Meile 235000 Thlr.

Frankreich hatte Ende 1851 im Ganzen 477,5 deutsche Meilen Eisenbahnen im Betriebe, deren Gesammtkosten circa 350 Millonen Thaler betrugen. Dies giebt pro Meile 730000 Thaler Anlagecapital mit einem Reinertrag von 23500 Thlr. pro Meile. Das ganze Eisenbahnnetz in Frankreich ist, nach seiner Vollendung, auf 702 deutsche Meilen Bahnlinie berechnet. Seit dem 11. Juni 1842 hat hier der Staat die Eisenbahnangelegenheit in der Weise geordnet, daß er den Unterbau besorgt und den dritten Theil des Bodens kauft, dessen übrige zwei Drittel die Gemeinden bestreiten, durch deren Bereich die Bahnen gehen. Privatindustrie besorgt den Oberbau und den Betrieb, und erlangt dafür auf eine bestimmte Zeit den Gebrauch der Bahn.

Belgien ist zuerst von dem sehr richtigen Grundsatz ausgegangen, daß das ganze Eisenbahnwesen Sache der Regierung sein müsse *) und in Folge dessen sind die belgischen Bahnen auch Musterbahnen in jeder Beziehung. Die Gesammtlänge der betriebenen Bahnen von Ende 1850 zu 84 deutschen Meilen angegeben, wovon 10 deutsche Meilen auf Privatgesellschaften kommen. Das Anlagecapital betrug 44600000 Thlr., die Baukosten per Meile 602500 Thlr. Der Reinertrag war im Jahre 1850 zu 1507260 Thlr. angegeben.

Rußland besitzt 3 Eisenbahnen. 1836 ward die kleine Bahn von Petersburg nach Zarskoje-Selo eröffnet. Länge 7 deutsche Meilen, Anlagecapital 3882000 Thlr. Die zweite Bahn von Petersburg nach Moskau ward im August 1851 eröffnet und ist 750 Kilometer lang. Die dritte Eisenbahn ist die von Petersburg nach Warschau, deren Bau 1852 gleichzeitig angegriffen wurde und eine Länge von $144^3/_7$ deutsche Meilen haben wird. Die Warschau-Krakauer Linie ist vollendet und Anfang 1851 waren ungefähr 50 Meilen im Betrieb.

---

*) Ueber die hierbei geltend zu machenden Principien siehe die interessante Schrift: „Ueber die Principien der öffentlichen Verkehrsanstalten" von M. v. Weber. Leipzig, J. J. Weber 1849.

Die Bahnen von Holland sind noch ohne Bedeutung, sie hatten 1846 eine Länge von 20 Meilen, Anlagecapital 8600000 Rthlr. Italien hat die Linie von Mailand nach Venedig und noch einige kleine Strecken vollendet. Sardinien hat ein Bahnnetz von 110 Meilen projectirt. 1851 waren in Italien nur gegen 40 Meilen in Betrieb. Anlagecapital 16 Millionen Thlr. Spanien besitzt erst 2 kleine Bahnen, 1 von 40 Kilometer Länge ist im Bau, ferner ist eine von Alar del Rey nach Santander von 100 Kilometer Länge projectirt. Am wichtigsten wird die Bahn von Madrid über Valladolid nach der französischen Grenze, so wie die von Malaga nach Cordova. Dänemark hat nur eine kleine Bahn von Kopenhagen nach Roeskild in der Länge von 14 deutschen Meilen, Anlagecapital 3335000 Thlr. Portugal projectirt erst eine Bahn von Lissabon nach Badajoz. In der Schweiz ist die Eisenbahnfrage eben Gegenstand der Berathung und ein höchst ausgedehntes Eisenbahnnetz im Antrag. Die schweizer Bahnen versprechen die interessantesten zu werden durch ihre Alpenübergänge und sonstigen großartigen Bauten. Schon die dafür ausgearbeiteten Projecte, darunter das von Stephenson, sind von hohem Interesse für die Eisenbahntechnik. In Aegypten ist der Bau der Eisenbahn von Alexandria nach Cairo, mit einer Länge von 109 Kilometer, bereits begonnen. Cuba besaß schon 1846 eine Eisenbahn von 5 Meilen Länge, Anlagecapital 1874000 Thlr.

Deutschland ergriff die Erfindung der Eisenbahnen gleich anfangs mit ungewohnter Lebendigkeit, obgleich die Ausbreitung im Anfange langsam genug vor sich ging. 1828 wurde zwar schon ein Theil der Verbindungsbahn zwischen der Moldau und Donau befahren, 1832 die 17 Meilen lange Bahn von Budweis nach Linz eröffnet und 1836 diese Bahn noch um 9 Meilen bis Gmunden verlängert. Aber diese Bahnen wurden nur mit Pferdezug betrieben. Die erste Dampfeisenbahn war die von Nürnberg nach Fürth, $^{4}/_{5}$ Meilen lang, welche 1835 eröffnet wurde *). Im Jahr 1837 wurden die Leipzig-Dresdener-Bahn und die Ferdinand's-Nordbahn begonnen, worauf die Anzahl der Eisenbahnen in Deutschland so schnell wuchs, daß jetzt, mit Einschluß der österreichischen Gesammtmonarchie, 1046 Meilen fertige Bahnen vorhanden sind, mit einem Capitalaufwand von etwa 415 Mill. Thlr. Preußen besitzt 394 Meilen fertige Bahnen mit einem Anlagecapital von 151559000 Thalern, Oesterreich 305 Meilen, Capital 119742000 Thlr. Das übrige Deutschland besitzt 347 Meilen mit einem Capital von 142854000 Thalern. Hierunter zeichnet sich Sachsen vortheilhaft aus, welches 7 Eisenbahnen mit 76 Meilen Länge besitzt.

Die Baukosten für Eisenbahnen sind höchst verschieden, je nach den Localschwierigkeiten, der Baumethode, der Expropriation, dem Material ꝛc. Ebenso verschieden ist der Ertrag der Eisenbahnen. Merkwürdig ist, daß die relative Ertragsfähigkeit der Eisenbahnen in Deutschland am höchsten ist. Der mittlere Reinertrag der deutschen Bahnen ist 5,28 Proc., in England 3,5 Proc., Amerika 4,5 Proc., Belgien 3,44 Proc., Frankreich 3,18 Proc.

Um das zu bewegende Material und die erforderlichen Bauten zu übersehen, welche die Anlegung einer doppelgleisigen Bahn mit Holzschwellen

*) Siehe Rößler, technische Beschreibung der Eisenbahn von Nürnberg nach Fürth. Darmstadt 1837.

per englische Meile ungefähr erfordert, mögen folgende Mittelwerthe dienen, welche Stephenson *) nach den englischen Erfahrungen giebt.

1)	Erdarbeiten (Auftrag und Abtrag)	100000 Cubik-Yards.
2)	Ballast (Kieselunterlage) 30 F. breit, 24 Z. hoch	11740 = =
3)	Querschwellen (Sleepers) 3520 Stück, à 5 Cubikfuß	350 Lasten (loods).
4)	Schienenstühle an den Stoßfugen, à 42 Pfund 1410 Stück	26 Tonnen.
5)	Kleinere Schienenstühle, à 28 Pfd., 5640 Stück	70 =
6)	Schienen, 84 Pfund per Yard	264 =
7)	Comprimirte Keile aus Ulmen-Holz	7050 Stück.
8)	Eiserne Bolzen (Klammern) oder comprimirte Holznägel	14100 =
9)	Einzäunungen (wenn keine natürlichen Buschwerke vorhanden)	120 Lasten.
10)	Gemauerte Brücken	2 bis $2^1/_4$ per Meile.
11)	Durchzüge (culverts)	176 per Meile.
12)	Stationen	von 5 zu 5 Meilen.

Der relative Kostenpreis der für die Eisenbahn nöthigen Anlagen stellte sich 1840 ungefähr folgendermaßen heraus.

1)	Expropriation der Grundstücke	10 Proc. des Anlagecapitals.
2)	Stationen und Uebergänge	20 = = =
3)	Verwaltung	10 = = =
4)	Eisen	10 = = =
5)	Bau und Construction	50 = = =

Der Kostenaufwand des Betriebes für einen Eisenbahntrain wird in England zu 3 Shilling (1 Thaler) per 1 englische Meile veranschlagt. Davon kommen 1 Shilling 6 Pence auf die Locomotive; 6 Pence auf Zinsen und Verläge; 4 Penceauf die Wagen-Unkosten; 8 Pence auf die übrigen Betriebsspesen.

Die Literatur über das Eisenbahnwesen ist höchst umfangreich und wir müssen uns hier auf wenige Andeutungen beschränken. In statistischer Hinsicht sind v. Reden's Werke: „Die Eisenbahnen in Europa und Amerika" (10 Bde. Berlin 1843—47) und „Eisenbahnjahrbuch" (Berl. 1846—47) zu nennen, so wie Otto Hübner, „Jahrbuch für Volkswirthschaft und Statistik" (Leipzig 1852). Nationalökonomisch wichtig sind die Arbeiten von Fr. List (Mittheilungen aus Nord-Amerika, Hamburg 1829; Ueber ein sächsisches Eisenbahnsystem, Leipzig 1833; Das deutsche Nationaltransportsystem, Altona 1838; Das deutsche Eisenbahnsystem, Stuttgart 1841). — Gerstner (Mémoire sur les grandes routes, Paris 1827; Berichte aus den Vereinigten Staaten, Leipzig 1839). — Lardner (Railway economy, London 1851). — Fairbairn (A treatise on the political economy, London 1836). — Teisserenc (Les traveaux publics 1839; Lettres sur la politique des chemins de fer 1842; Etudes sur les voies de communication perfectionnées 1847). Topo-

*) Stephenson, Railways, an Introductary Sketch. Part. I. p. 14, 15.

graphisch und geschichtlich interessant sind eine große Anzahl Monographien und Memoiren über einzelne Eisenbahnen, wovon sich ein ziemlich vollständiges Verzeichniß befindet in: Malberg, Literatur des Bau- und Ingenieurwesens, Berlin 1852. Man findet daselbst auch ein Verzeichniß der Schriften über Staatswirthschaft, Gesetzgebung, Administration und Betrieb der Eisenbahnen (S. 147 bis 166).

Auch die rein technische Literatur ist bedeutend angewachsen. Wir vermissen darin nur deutsche umfassende Originalwerke aus der neueren Zeit. Ueberhaupt waren die Autoren über Eisenbahnen meist Ausländer, und wir haben uns in Deutschland vielfach mit übersetzten und combinatorischen Werken begnügen müssen.

Die deutsche Originalliteratur über Eisenbahnen stammt aus älterer Zeit. Wir heben daraus folgende selbstständige Werke hervor: Baader, neues System der fortschaffenden Mechanik (München 1822) und einige kleinere Schriften. — Crelle, einiges allgemein Verständliche über Eisenbahnen 1835; Ueber verschiedene Arten von Eisenbahnschienen und deren Fundamentirung 1837; Einiges in Zahlen über Eisenbahnen 1838; Einiges über Ausführbarkeit von Eisenbahnen in bergigen Gegenden 1839; Einiges von Vervollkommnungen des Eisenbahnwesens 1842; Hölzerne Schutzschienen auf Eisenbahnen 1847 (aus Crelle's Journal für Baukunst). — Beyse, Beiträge zum prakt. Eisenbahnbau. 2 Bde. Carlsruhe 1841 und 1844. — Bühler, technische und administrative Bemerkungen über Eisenbahnen, Stuttg. 1846. — Gerstner, die innern Communicationen. 2 Bde. Wien 1843. — Potente, prakt. Handbuch der Eisenbahnkunde, Cassel 1847. — Steinle, technisches Handbuch des Eisenbahnwesens 1848. — Henschel und Fick, Beiträge zur Constructionsverbesserung der Eisenbahnen, Cassel 1838. — Rößler, technische Beschreibung der Eisenbahn von Nürnberg nach Fürth, Darmstadt 1847. — Meißner, Geschichte und erklärende Beschreibung der Eisenbahnen, Dresden 1839. — Westphalen, über Gebirgs-Eisenbahnen, Dresden 1843. — C. Hartmann, praktisches Handbuch über Anlage von Eisenbahnen, Augsb. 1840; Handbuch des Eisenbahnwesens, Weimar 1847.

An Journalen ist zu nennen: v. Heisinger, Organ für Eisenbahnwesen; List, Eisenbahnjournal; Crelle, Journal für Baukunst; Eisenbahnzeitung von Etzel und Klein; Dingler's polytechnisches Journal.

Englische Hauptwerke von bleibendem Werth sind: Tredgold, a practical treatise on railrood 1835. — Wood *), a practic. treat. 1838. — Brees, Railway practice 1837. — de Pambour **), practical treatise on locomotive engines 1836. — Simms, the public works of Great Britain 1838. — Wishaw, Analysis of Railways 1838. — The Railways of Great-Britain 1840. — Drysdale-Dempsey, the practical railway engineer. — Stephenson, Railways, an introductary sketch. — London, Railway Magazine 1840. — Civil-Engineer and Architects Journal — Mechanics-Magazine — Americain Railrood Journal.

---

*) Wood, praktisches Handbuch, übersetzt von Köhler. Braunschweig 1839.

**) Pambour, Handbuch über Dampfwagen, übersetzt von Schnuse. Braunschweig 1841.

Französische Werke: Perdonnet, mémoire sur les chemins à ornières 1830. — Minard, leçons faites sur les chemins de fer 1834. — Poussin *), chemins de fer américains 1836. — Navier **), notes 1835. — Oliver, mémoires 1836, 1846. — Armengaud ***), l'industrie des chemins de fer. — Biot ****), Manuel du constructeur de chem. de fer 1840. — Perdonnet et Polonceau, portefeuille de l'ingenieur 1842—1848. — Chevalier, die neuesten Betriebseinrichtungen, deutsch von Wild, Stuttgart 1848. — Annales des ponts et chaussées. — Le Grand, Aperçu sur le chemin de fer 1843. — Sganzin et Reibell, Programme ou résumé des leçons.

Ueber atmosphärische Eisenbahnen haben speziell geschrieben: F. Becker, (Frankfurt 1844). Herapath, (Wien 1844). v. Weber, (Berlin 1845). Crelle, (Berlin 1846). Deschwanden, (Zürich 1846). Samuda (1842). Dubern (1846). Stephenson (1844). Mallet, Arago und Jones (1845) und Armengaud (1847).

In neuester Zeit beschränkt man sich mehr auf Detail-Construction, ohne daß man neue Systeme aufzufinden suchte. Einzelne Ausnahmen gehören mehr in die Categorie der Projectenmacherei und Experimentirkunst, als in die der praktisch bedeutsamen und wichtigen Erfindungen. Das jetzt eingeführte Eisenbahnsystem dürfte noch längere Zeit unangefochten in bisheriger Weise fortbestehen und in den Betriebsmitteln nur geringe Modificationen erfahren. R. Pohl.

Eiweißstoff, Albumin, ist ein in Pflanzen und Thieren sehr verbreiteter Stoff; vorzüglich findet er sich in den Gemüse- und Futterpflanzen, im Blute, in der Lymphe, der serösen Flüssigkeit, in den Eiern aller Thierclassen 2c. Man kennt zwei Modificationen desselben, ein lösliches und unlösliches Albumin. Das lösliche Albumin erhält man aus Blut oder Eiweiß, wenn man diese Körper im luftleeren Raume unter 50° eindampft, den Rückstand mit Aether und Alkohol von 90 Proc. und dann mit destillirtem Wasser auszieht; die wässerige Flüssigkeit enthält das lösliche Albumin, welches nicht rein, sondern noch mit anorganischen Salzen verbunden ist. Es bildet nach dem Abdampfen der Lösung eine blaßgelbliche durchscheinende Masse, getrocknet ein geruch- und geschmackloses weißes Pulver, das weder saure noch alkalische Reaction besitzt, mit Wasser eine schleimige bei 63° gerinnende Lösung giebt, die beim Schlagen schäumt und bei 100° getrocknet noch löslich ist. Concentrirter Alkohol, die mineralischen Säuren, außer der dreibasischen (gewöhnlichen) Phosphorsäure, und die Gerbsäuren fällen das Albumin und bringen es zum Gerinnen. Mit Alkalien dagegen geht es leicht lösliche Verbindungen ein und ist im Blute und Eiweiß an Natron gebunden. Auflösungen von Metallsalzen geben in einer Albuminlösung Niederschläge, welche aus Albumin, das durch die Säure des Fällungsmittels unlöslich geworden ist,

*) Tell-Poussin, amerikanische Eisenbahnen, übers. von Lehrritter. Regensburg 1847.

**) Navier, die Grundsätze und Bedingungen der Bewegung auf Eisenbahnen, übers. von Schmidt. Quedlinburg 1839.

***) Armengaud, das Eisenbahnwesen, aus dem Französischen. Weimar 1839—48.

****) C. Biot, über Anlegung und Ausführbarkeit der Eisenbahnen, übersetzt von Schmidt. Weimar 1835.

und Metalloxyd bestehen (Albuminate), unter denen die mit Quecksilberchlorid und salpetersaurem Quecksilberoxydul für das Albumin charakteristisch sind. Das im Wasser unlösliche Albumin scheint im thierischen Organismus gar nicht, in Pflanzen jedoch nicht so selten vorzukommen; man erhält es immer durch Behandlung des löslichen mit Alkohol oder Säuren oder durch Erhitzen der Lösung desselben. — Die Zusammensetzung des Albumins ist sehr complicirt und sehr hypothetisch; es enthält aber außer dem Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, noch Schwefel und Phosphor und bildet mit mehreren andern, ihm sehr ähnlichen, für die Ernährung des thierischen Körpers wichtigen organischen Substanzen: Fibrin, Casëin, Pflanzenleim ꝛc. eine Gruppe von Körpern, welche nach Mulder: Proteïnsubstanzen genannt werden. Da das Albumin der Pflanzen und Thiere identisch ist, so ist es wohl mehr als wahrscheinlich, daß die Thiere dasselbe schon fertig gebildet aufnehmen und nicht erst in sich erzeugen. H. Rth.

Ekliptik (v. d. griechischen ἔκλειψις, Finsterniß) oder der schiefe Kreis, so genannt wegen seiner schrägen Lage gegen den Aequator des Himmels, ist der vom Mittelpunkte der Sonne bei deren jährlichen Laufe am Himmel scheinbar beschriebene größte Kreis. Diese Bewegung der Sonne entdeckten schon die oberflächlichsten Beobachter im Alterthume, denn sie sahen nicht blos die Sonne nicht alle Tage des Mittags gleich hoch am Himmel stehen, sondern sie wurden auch bald inne, daß in Bezug auf die kurz nach Sonnenuntergang in dessen Gegend sichtbar werdenden Sterne die Sonne einen besondern Lauf von Westen nach Osten unter den Fixsternen habe. Endlich nahm man im Früh- und Spätjahre die Sonne bei den im und sehr nahe am Aequator stehenden Sternen gewahr, so wie daß sie um diese Zeit einen gleichen Bogen wie die Sterne im Aequator beschrieb, indessen ihre Mittagshöhe im Sommer um 23½ Grad größer und im Winter um 23½ Grad kleiner, als die Aequatorhöhe war. So mußte man also leicht finden, daß die Sonnenbahn oder Ekliptik gegen den Aequator geneigt sei, daß sie diesen in zwei diametral sich gegenüber befindlichen Punkten, den Aequinoctien schneide, zwischen diesen beiden Punkten aber in den Solstitien um 23½ Grad vom Aequator abstehe. Von Alters her wird die Ekliptik in 12 Zeichen und jedes derselben in 30° getheilt. Diese Zeichen haben ihre besondern Benennungen und die sie andeutenden Bezeichnungen von den im Thierkreise (s. d.) stehenden 12 Sternbildern.

Das Vorrücken der Nachtgleichen (s. d.) aber hat bewirkt, daß die Zeichen jetzt nicht mehr den gleichnamigen Sternbildern entsprechen, wie vor mehr als 3000 Jahren, sondern ungefähr um 30° differiren; so heißt also z. B. der Ausdruck: die Sonne befindet sich im Zeichen des Widders, jetzt nichts anderes als: die Sonne steht in dem Sternbilde der Fische. Auch geben die Astronomen unserer Tage deshalb die auf der Ekliptik gerechneten Längen der Sonne, des Mondes und der Planeten nicht mehr nach den Zeichen, Graden ꝛc. an, sondern einfach blos in Graden, Minuten ꝛc. Denn die Ekliptik wird wie jeder andere Kreis in 360 Grade eingetheilt. Ferner ist die Lage dieses merkwürdigen Kreises gegen den Aequator nicht stets die nämliche, sondern der die Schiefe der Ekliptik genannte Winkel, welchen die Ebenen dieser beiden Kreise mit einander bilden, ist zwischen bestimmten Grenzen periodisch ab- und zunehmend. In jetzigen Zeiten findet eine Abnahme statt und die mittlere Schiefe der Ekliptik beträgt nach Encke

am 0. Jan. 1853 Berlin Mittags 12 Uhr 23° 27′ 30″, 42. Länge und Breite eines Gestirns beziehen sich als sphärische Coordinaten auf das Frühlingsäquinoctium und die Ebene der Ekliptik.

Die 12 Zeichen der Ekliptik und ihre Namen sind folgende: ♈ Widder, in den die Sonne am 21. März tritt; ♉ Stier, 20. April; ♊ Zwillinge, 21. Mai; ♋ Krebs, 21. Juni; ♌ Löwe, 22. Juli; ♍ Jungfrau, 23. August; ♎ Waage, 23. September; ♏ Skorpion, 23. October; ♐ Schütze, 22. November; ♑ Steinbock, 21. December; ♒ Wassermann, 20. Januar und ♓ Fische, 18. Februar. Jahn.

Elasticität, Federkraft, Spannkraft, Schnellkraft oder Springkraft (Elasticitas; Elasticité; Ressort; Elasticity; Elastic force; von ἐλάω, ich treibe, bewege) ist eine allgemeine Eigenschaft aller Körper, vermöge welcher sie die gegenseitige normale Lage ihrer Theile (Moleküle) zu erhalten streben und in Folge dessen gegen jede Kraft, welche Volumen oder Gestalt zu ändern sucht, eine Reaction ausüben, die nach der Natur und dem Aggregatzustand der Körper, so wie nach der Art der äußeren Einwirkung eine verschiedene ist.

Je nachdem die einwirkende Kraft in einem Druck, einem Zug, oder einer Drehung besteht, ist die Reactionsäußerung der Körper unter verschiedenen Gesichtspunkten zu betrachten, so daß wir zunächst zwischen festen, flüssigen und luftförmigen Körpern zu unterscheiden haben. Gegen Zusammendrückung äußern sich alle Körper in sofern gleich, als sie, bis zu gewissen Grenzen hin, streben, nach Aufhören dieses Druckes in ihren normalen Zustand, in Bezug auf Gestalt oder Volumen, zurückzukehren. An festen Körpern zeigt sich das gleiche Bestreben auch bei Biegung oder Drehung um ihre Axe.

Bei Ausdehnung in einen größeren Raum äußern aber nur die festen Körper ein Bestreben, die veränderte Gestalt wieder herzustellen. Da wir bei tropfbar flüssigen Körpern kein anderes Mittel zu deren Ausdehnung besitzen, als die Wärme, so können wir zwar nicht durch Erfahrung, aber nach Analogie allgemeiner Gesetze schließen, daß auch sie sich, innerhalb gewisser Grenzen, in ihren früheren Raum wieder zusammenziehen würden, wenn man sie durch irgend eine mechanische Kraft über ihr ursprüngliches Volumen ausdehnen könnte.

Bei den luftförmigen oder sogenannten elastisch flüssigen Körpern tritt aber ein wesentlich anderes Verhältniß ein. Sie lassen sich auf jeden beliebigen Theil ihres Volumens zusammendrücken, so weit das Mariottische Gesetz reicht, und nehmen bei Aufhebung des Druckes immer wieder ihr früheres Volumen unverändert ein, so lange durch übermäßigen Druck ihr Aggregatzustand nicht bleibend verändert wird, und in sofern sind die luftförmigen Körper innerhalb der bezeichneten Grenzen als absolut oder vollkommen elastisch zu betrachten.

Dagegen zeigen sie niemals das Bestreben, sich nach Beseitigung der äußeren ausdehnenden Kraft in ihren vorigen Raum wieder zusammen zu ziehen, sondern suchen vielmehr immer, einer äußeren zusammendrückenden Kraft entgegen, sich auszudehnen oder zu expandiren. Je geringer der sie zusammenhaltende Druck ist, desto weiter dehnen sie sich aus und ihre Spannkraft ist immer gleich diesem Drucke. Nach unserer Definition sind aber nur diejenigen Körper elastisch zu nennen, welche das Bestreben äußern, den sowohl durch Zusammendrückung als durch Ausdehnung veränderten normalen Rauminhalt wieder herzu-

stellen. Folglich können die luftförmigen Körper nicht in diesem Sinne elastisch genannt werden, wenn wir nicht annehmen wollen, daß das normale Volumen derselben unendlich groß sei.

Da die hierauf bezüglichen Unterscheidungen zwischen absoluter, specifischer, permanenter Elasticität rc. unlogisch sind, so folgen wir dem Vorgang von Gren, Gehler, Delüc, Fischer *), Muncke **) u. A., und nennen die festen Körper elastisch, die tropfbar flüssigen compressibel, die luftförmigen aber expansibel. Unter dem Gesichtspunkt der Elasticität sind also nur die erstgenannten Körper hier zu betrachten, während die Expansibilität der luftförmigen Körper (Gase und Dämpfe) in dem darauf bezüglichen Artikel zu behandeln ist.

Wenn wir daher in der Definition die Elasticität eine allgemeine Eigenschaft aller Körper genannt haben, so müssen wir die beschränkende Bemerkung hinzufügen, daß nur die Druck-Elasticität darunter zu verstehen ist, während wir allein an den festen Körpern noch zwei andere Reactionen, die Dehnungs-Elasticität und die Torsionselasticität unterscheiden. Dies ist in der Natur der festen Körper begründet, weil diese ihre allseitig begrenzte Form nach allen Richtungen aufrecht zu erhalten suchen, und folglich nach jeder gewaltsamen Veränderung, falls diese eine gewisse Grenze nicht überschreitet, wieder annehmen. Bei einer Biegung tritt die zusammengesetzte Erscheinung ein, daß auf der concaven Seite eine Zusammendrückung der Bestandtheile, auf der convexen Seite dagegen eine Ausdehnung der Theile stattfindet und daher die Reactionswirkung der Elasticität theils in einer Ausdehnung, theils in einer Zusammenziehung besteht. Aehnlich werden auch bei einer Drehung der Körper um ihre Axe, die Theile gegen einander verwunden, wodurch sie theils ausgedehnt, theils comprimirt werden und bis zu gewissen Grenzen hin das gleiche Bestreben zeigen, in ihre frühere Stellung zurückzukehren.

Der Erfahrung gemäß sind zwar alle Körper elastisch, aber in einem sehr ungleichen Grade und innerhalb sehr verschiedener Grenzen. Man beobachtet eine Reihe von Abstufungen, die man innerhalb der idealen Grenzen von vollkommen elastisch und vollkommen unelastisch zusammenfaßt, obgleich beide Extreme nicht vorhanden sind.

Vollkommen oder absolut elastisch würde man diejenigen Körper nennen, deren Reaction der Aktion unter allen Umständen genau proportional wäre, deren Theile also bei nachlassendem Druck ihr voriges Volumen vollständig, und zwar mit einer, der zusammendrückenden Kraft völlig gleichen Intensität unter allen Umständen wieder herstellen würden. Die letztere Bedingung ist bei festen Körpern nie vollständig erfüllt und die beobachtete Verminderung der Reactions-Intensität kann nicht allein vom Widerstand der Luft hergeleitet werden. Daher suchen Manche diesen Verlust an Elasticität durch eine Reibung der zusammengedrückten und an ihren ursprünglichen Ort zurückkehrenden Theilchen zu erklären, durch welche nothwendig ein Theil der Kraft verloren gehen müsse. Dagegen wären die tropfbar flüssigen und luftförmigen Körper als vollkommen

*) Lehrbuch der mechanischen Naturlehre, Edit. von August. Bd. I. S. 101.
**) Gehler's Phys. Wörterb. N. A. Bd. III. S. 168.

elastisch zu betrachten, weil bei ihnen von einer eigentlichen Reibung der Theile gegen einander nicht die Rede sein könne. Dennoch tritt auch bei diesen die Beschränkung ein, daß durch ihre Compression jederzeit Wärme frei, durch ihre Ausdehnung aber Wärme gebunden wird, wodurch, nach dem Princip des mechanischen Aequivalentes der Wärme, jederzeit etwas Kraft consumirt werden muß, die nicht vollständig wieder ersetzt werden kann.

Vollkommen oder absolut unelastisch würde derjenige Körper genannt werden müssen, welcher der einwirkenden äußeren Kraft nicht die geringste Reaction entgegensetzen, folglich auch in keiner Weise ein Bestreben zeigen könnte, bei nachlassender Kraftwirkung seinen vorigen Raum wieder herzustellen. Aber selbst unter den festen Körpern finden wir keinen, welcher dieser Bedingung vollkommen entspräche.

Der Erfahrung gemäß haben wir daher die meisten Körper nur als mehr oder minder elastisch zu betrachten.

Diese größere oder geringere Elasticität wird nach der relativen Größe des Widerstandes gemessen, welchen die Körper den ihr Volumen verändernden Kräften entgegensetzen. Nach diesen Abstufungen der Elasticität haben wir nur die festen Körper zu betrachten, und es kommt hierbei theils die Größe, theils die Dauer der äußeren Einwirkung in Betracht. Doch gilt das allgemeine Gesetz, daß gleiche (aber kleine) Zunahmen der einwirkenden Kraft gleiche räumliche Veränderungen hervorbringen; woraus folgt, daß der Widerstand, welchen die Elasticität leistet, in gleichem Verhältniß mit den Raumänderungen steht, welche die Körpertheile erleiden.

Ist die Veränderung der Form nur eine geringe und kurzdauernde, so wird dieselbe bei allen Körpern gleichmäßig und vollständig wieder hergestellt; und in diesem Sinne ist jeder Körper zwischen engen Grenzen vollkommen elastisch. Wächst aber die ihre Form verändernde Kraft, so wächst zwar auch der Widerstand, aber nur bis zu einer gewissen Grenze, über welche hinaus derselbe entweder gänzlich aufhört, oder doch so gering wird, daß die Körper bei nachlassender Einwirkung ihr normales Volumen nicht vollständig wieder erhalten.

Es giebt folglich für jeden Körper eine gewisse Elasticitätsgrenze, über welche hinaus die Theile desselben sich entweder wirklich von einander trennen, oder sich in einem neuen stabilen Gleichgewichtszustand ordnen, bis durch fortdauernde Kraftwirkung auch dieser neue Zustand aufgehoben und die Cohäsion vollständig überwunden wird. Im ersteren Falle nennt man die festen Körper spröde, im letzteren dehnbar.

In allen diesen Fällen ist klar, daß, wenn die einwirkende Kraft von einer bestimmten, unveränderlichen Größe ist, die Wirkung auch nur bis zu einem ganz bestimmten Punkte fortschreiten, und dann Stillstand erfolgen müsse. Dies geschieht sowohl innerhalb der Grenzen der vollkommenen als auch der unvollkommenen Elasticität. Bei jedem solchen Stillstand ist offenbar der Widerstand des Körpers genau der einwirkenden Kraft gleich. Ist also diese Kraft meßbar, so hat man dadurch zugleich das Maß des Widerstandes, den der feste Körper unter diesen Umständen leistet, als ein Maß der Elasticität desselben.

Bei den tropfbar flüssigen Körpern wissen wir, daß sie durch fortgesetzten Druck immer dichter werden. Eine bleibende Veränderung tritt bei

solchen flüssigen Körpern ein, die durch fortgesetzten Druck fest werden, und diesen Zustand müssen wir als die Elasticitätsgrenze der flüssigen Körper bezeichnen, von welcher an sie natürlich den Gesetzen der festen Körper unterworfen sind. Da ebenso die meisten luftförmigen Körper durch fortgesetzten Druck flüssig werden können, so haben wir diesen Uebergang als die Elasticitätsgrenze der luftförmigen Körper zu betrachten, von welcher an sie in die Reihe der flüssigen treten.

In Bezug auf die Größe oder Intensität der Einwirkung, welche nöthig ist, um überhaupt eine Verschiebung der Theilchen der Körper hervorzubringen, also dieselben zu einer merklichen Aeußerung ihrer Elasticität zu veranlassen, unterscheidet man harte und weiche Körper. Ist eine große Kraft nöthig, um eine merkliche Elasticitätsäußerung zu bewirken, so heißt der Körper hart, im entgegengesetzten Falle weich.

Ist die einwirkende Kraft größer als die widerstehende, so zerbricht oder zerreißt der Körper, gleichviel ob die Kraft ein Druck, Zug oder Stoß ist. Besteht aber die Kraft in einem Stoß, mit nur mäßiger Geschwindigkeit, ist dieser nur wenig stärker als die Cohäsion und ist der Körper hart und spröde, so zerspringt er meist nur in einzelne Stücke. Wenn dagegen dieser Stoß der Cohäsionskraft sehr überlegen, und mit großer Geschwindigkeit auftrifft, so geschieht selbst bei spröden Körpern oft nichts weiter, als daß der getroffene Theil losgerissen und der Körper an dieser Stelle durchdrungen wird.

Die Einwirkung der äußeren Kraft pflanzt sich nämlich zwar sehr schnell, aber nicht momentan durch den ganzen Körper fort. Daher erfolgt die Reaction der Elasticität ebenso wenig, als die Ueberwindung der Cohäsion, in einem untheilbaren Zeitmoment und ein Stoß muß daher, bei gehöriger Intensität und Geschwindigkeit, anders wirken als ein Druck oder Zug. Je größer die Geschwindigkeit des Stoßes ist, desto mehr wirkt die Kraft nur auf die Theile, die unmittelbar in der Richtung des Stoßes liegen, während ein bloßer Druck, selbst bei verhältnißmäßig geringer Intensität, sich bei weitem mehr durch die ganze Masse des Körpers verbreitet und den letzteren selbst an den nicht unmittelbar getroffenen Theilen zertrümmern kann.

In Bezug auf die ununterbrochene oder periodisch wiederkehrende Dauer der Einwirkung zeigen die festen Körper ebenfalls eine große Verschiedenheit, weshalb man die permanent oder bleibend elastischen von den nicht permanent elastischen zu unterscheiden hat. Permanent elastisch heißt ein Körper, dessen Theile nach der Zusammendrückung oder Ausdehnung immer wieder in ihre normale Lage zurückkehren, wie lange auch diese Einwirkung dauern oder wie oft sie auch wiederholt werden mag. Im vollen Umfange sind daher nur die absolut elastischen Körper auch permanent elastisch zu nennen, so daß wir nur die flüssigen und luftförmigen Körper als solche bezeichnen können. Doch bieten auch viele feste Körper, welche in hohem Grade elastisch sind, Beispiele unglaublich lange anhaltender Elasticität dar, welche sich aber bei fortgesetzter äußerer Einwirkung nach und nach immer mehr verliert.

Zwischen den festen Körpern besteht aber auch in sofern ein großer Unterschied, als sie theils schon in Folge ihrer inneren Struktur, d. h. durch innere Steifigkeit merklich elastisch sind, theils erst durch äußere Einwirkung, nämlich durch Spannung oder Zusammendrückung zu einer Aeußerung

der Elasticität gebracht werden. Die erstere Elasticität nennen die Gebrüder Weber *) die natürliche, die letzteren zwei Arten aber die vergrößerte Spannung (Elasticität) der Körper.

Wir haben nun die vorzüglichsten Erfahrungen und Messungen zur Bestätigung und Begründung dieser allgemeinen Betrachtungen anzuführen, wobei zunächst die festen Körper zu berücksichtigen sind.

Daß alle Körper in gewissem Grade vollkommen elastisch sind, beweist das Vorkommen der Schwingungen in der ganzen Natur, sowohl in festen und tropfbaren als in den gasförmigen Körpern **). Der Nachweis über die Art und den Zusammenhang der Schwingungen mit der Elasticität gehört nicht hierher, sondern in die betreffenden Artikel (Schwingung und Wellen ***). Das Vorhandensein dieser Schwingungen wird aber schon dadurch bewiesen, daß alle Körper den Schall fortpflanzen, folglich auch elastisch sein müssen. Denn ein vollkommen unelastischer Körper könnte nicht fähig sein, in Schwingungen zu gerathen und wäre mithin zur Schallleitung vollkommen untauglich, was durch die Erfahrung widerlegt ist. Daß die Schallfortpflanzung mit der Elasticität der Körper in directem Zusammenhang steht, geht daraus hervor, daß man aus der Größe der Elasticität der Körper die Geschwindigkeit, mit welcher sie den Schall fortpflanzen berechnen, und daß man umgekehrt aus der Schallgeschwindigkeit auf die Größe der Elasticität schließen kann. (S. d. Art. Schall).

Die weitesten Grenzen vollkommener Elasticität zeigen unter den Metallen: Stahl, Platin, Kupfer, Messing; die engsten Grenzen: Gold, Silber, Blei, Zinn. Die ersteren sind hart, spröde und elastisch, die letzteren weich, dehnbar und fast unelastisch. Das Gemeinschaftliche aller Metalle ist, daß sie die natürliche Spannung besitzen, d. h. durch innere Steifigkeit elastisch sind. Durch mechanische und chemische Einwirkungen wird aber der Elasticitätszustand Aller merklich geändert, namentlich, wenn man sie gegenseitig mit einander verbindet. Stahl und Eisen werden elastischer durch Härten; Silber, Platin, Messing, Nickel, Zinn und Molybdän elastischer durch Hämmern, Walzen oder Drahtziehen. Kupfer ist an sich biegsam, wird aber durch Walzen und Hämmern sehr elastisch. Im gewöhnlichen Zustande ist Zink sehr spröde, wenn es aber warm gewalzt wird, ist es elastisch. Eisen mit viel Kohlenstoff ist als Gußeisen spröde; mit weniger Kohlenstoff als Stahl sehr weich, wird aber durch Härten nicht nur sehr elastisch, sondern auch, je nach dem Grad der Erhitzung und Härtung spröde oder weich (federhart). Kupfer mit Zink verbunden ist biegsam, mit Zinn aber spröde. Gold und Silber werden durch Zusatz von Kupfer härter und elastischer.

Die Erden verbinden mit dem Zustande der Härte meist einen hohen Grad von Elasticität. Kieselerde, Achat und Marmor stehen hier oben an. Feuchter Thon, so wie alle mehr oder weniger breiartigen Körper sind fast unelastisch. Doch hat Robison ****) durch Versuche gefunden, daß Thon, den er zu einem Draht

*) E. H. u. W. Weber, Wellenlehre. S. 481.

**) E. H. u. W. Weber, Wellenlehre. S. 24.

***) Siehe: Ueber Schwingungen, mit besonderer Anwendung auf die Untersuchung der Elasticität fester Körper von Seebeck. Dresden 1846. (Im Programm der polyt. Schule daselbst).

****) Robison, Mechan. Phil. T. I. p. 375.

von 0,05 Zoll Durchmesser und 7 Fuß Länge auszog, elastischer als Blei sei. Man kann den Aggregatzustand solcher breiartiger Körper als einen Mittelzustand zwischen dem vollkommen Festen und Flüssigen betrachten. Ein merkwürdiger Körper ist hierin das Glas. Im Zustand des Glühens ist es sehr weich, aber dennoch elastisch, wie durch die Versuche vom Grafen Bucquoi bewiesen ist *), welcher das glühende Glas nicht meßbar comprimiren konnte. Im festen Zustande ist das Glas sehr spröde und hart, und kann nach Umständen, welche besonders auf Abkühlung beruhen, entweder mehr oder minder elastisch werden. Sehr elastisch sind langsam abgekühlte dünne Glasstreifen und Röhren, namentlich die ganz fein ausgesponnenen Glasfäden; Glasfläschchen mit sehr dünnem Boden oder dünner Scheidewand; fein ausgeblasene Thermometerkugeln ꝛc. Aeußerst spröde und unbiegsam dagegen sind alle Glassorten, welche nicht im Kühlofen gekühlt sind, oder noch glühend in kaltes Wasser geworfen werden. Dahin gehören besonders die Springkölbchen (Bologneser Fläschchen), welche augenblicklich in viele Stücke zerspringen, sobald man den Boden des Kolbens mit Feuerstein u. dergl. ritzt, während der gewölbte Glasboden gegen Schläge und Stöße mit stumpfen Körpern bedeutenden Widerstand leistet; und die Glastropfen (Glasthränen) welche so hart sind, daß man sie mit ihrer feinen Spitze wie Nägel in Holz einschlagen kann, während sie augenblicklich in feines Glaspulver zerstieben, sobald man die Spitze abbricht. Das Zerplatzen geschieht in letzterem Falle so gewaltsam, daß z. B. Champagnerflaschen springen, wenn man sie mit Wasser füllt und einen Glastropfen darin zerbricht **). Der Grund dieser Erscheinung liegt darin, daß, bei der schnellen Erkaltung der Glasmasse, die Atome an der Oberfläche durch rasche Zusammenziehung einander so nahe gebracht werden, daß sie sich stärker anziehen, als die Atome im Innern. Diese werden dadurch, wie durch ein heftig darüber gespanntes Netz, gewaltsam zusammengehalten und entfernen sich vermöge ihrer Elasticität von einander, sobald das Netz an irgend einer Stelle zerreißt. Durch langsames Erhitzen oder Ausglühen im Kühlofen verliert das Glas seine Spannung und Sprödigkeit und die Glastropfen ꝛc. gleichen dann dem gekühlten Glas.

Unter den thierischen Stoffen sind Elfenbein, Fischbein, Gräten, Knochen, Schildpatt, Perlmutter, Horn, Nägel, Haare, Federn, Felle, Membranen, Darmhäute, Coconfäden ꝛc. vorzugsweise elastisch. Die Vegetabilien zeigen im Durchschnitt sämmtlich einen hohen Grad der Elasticität, namentlich ist Kautschuk, Gutta Percha, Bernstein und trocknes Holz hervorzuheben. Durch Vulkanisiren, d. h. durch chemische Vereinigung mit einem geringen Quantum schwefel- und kohlehaltiger Verbindungen erhalten Kautschuk und Gutta Percha eine sich in jeder Temperatur gleichbleibende Elasticität. Im Ganzen sind die Vegetabilien weich und elastisch, während die Mineralien hart und elastisch sind. Erstere werden auch vorzugsweise erst durch vergrößerte Spannung elastisch, während letztere durch natürliche Spannung elastisch sind.

Einen hohen Grad von permanenter Elasticität haben die Stahlfedern (in Taschenuhren), vulkanisirter Kautschuk und Fischbein, jedoch nur für den Fall, daß die Spannung nicht zu lange Zeit anhaltend wirkt und daß ihrer Elasticität

---

*) Gilb. Ann. Bd. XLIII. S. 98.
**) Eisenlohr, Lehrbuch der Physik. II. §. 24.

nicht über die Elasticitätsgrenze hinaus entgegengewirkt wird, so daß ihre Theile nach aufhörendem Druck vollkommen an ihren frühern Ort zurück gelangen können. Eigentlich permanent elastisch sind nur die Flüssigkeiten und halbflüssige, zähe Massen, wie das glühende Glas, dessen Theile durch starke Compression einander nicht merklich näher gebracht werden können.

Die genauere Untersuchung der Elasticität fester Körper muß nach drei Richtungen geführt werden, in Bezug auf ihre Längenausdehnung, ihre Biegung und Drehung. Eine vollständige Aufzählung aller dahin einschlagenden Versuche würde ebenso überflüssig sein, als sie die Grenzen dieses Artikels überschritte. Wir müssen uns daher auf die Ausführung der vorzüglichsten Versuchsreihen beschränken, welche speziell zur Untersuchung der Elasticität angestellt worden sind. Hierdurch werden sogleich alle die Versuche ausgeschieden, welche nicht zur Bestimmung der Elasticität, sondern der Cohäsion und Festigkeit der Körper unternommen wurden. In vielen Fällen suchte man nur das Maximum desjenigen Gewichtes zu bestimmen, welches die Körper zu tragen vermögen ohne zu zerreißen, zu zerbrechen oder zerdrückt zu werden. Diese Resultate gehören sämmtlich in den Artikel Festigkeit. In anderen Fällen hat man diejenige Last aufzufinden gesucht, wodurch die Körper nicht weiter ausgedehnt werden, als möglich ist, damit sie sich bei nachlassender Dehnung wieder zu ihrem ursprünglichen Volumen zusammenziehen. Diese Resultate über die Elasticitätsgrenze der Körper gehören allerdings hierher, doch sind sie, als einfache praktische Resultate noch nicht ausreichend.

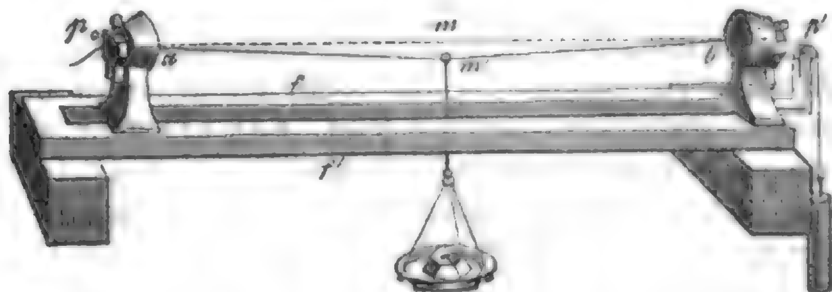
I. Eigentliche Untersuchungen über die Gesetze der Elasticität, und zwar zunächst in Bezug auf die Spannung der Körper nach ihrer Länge sind nicht zahlreich vorhanden. Die ältesten sind die von Hooke, die neuesten und umfassensten die von Werthheim und Kupffer.

R. Hooke *) sprach zuerst den, für das Wesen der Elasticität wichtigen Satz aus: Ut tensio sic vis. Alle späteren Untersuchungen haben dieses Gesetz innerhalb gewisser Grenzen bestätigt, wobei namentlich vorausgesetzt ist, daß die Spannung nicht weiter geht, als soweit die Elasticität der Körper vollkommen scheint. Weiter hinaus nehmen die Theile eine andere Lage gegen einander an und zeigen sich zwar elastisch, kehren aber nicht wieder zu ihrem ursprünglichen Volumen zurück. Diese Erscheinung ist namentlich von Tredgold **), v. Gerstner ***), W. Weber ****) und Brix *****) unter verschiedenen Gesichtspunkten beobachtet worden, auf die wir später zurückkommen werden.

Unter die vorzüglichsten älteren Versuche gehören die von s'Gravesande†), welcher die Gesetze der Elasticität an Metallsaiten bestimmte. Er bediente sich dabei eines Apparates, welcher in der Hauptsache folgende Einrichtung

*) Philos. Tracts and Collections. Lond. 1679. 4.
**) Tredgold, practical essay on the strength of cast iron. London 1824. p. 117.
***) Ritter v. Gerstner, Handbuch der Mechanik. Bd. I. S. 273.
****) Poggend. Ann. Bd. XXXIV. S. 247.; Bd. LIV. S. 1.
*****) Abhandlung über die Cohäsions- und Elasticitäts-Verhältnisse einiger, nach ihren Dimensionen beim Bau der Hängebrücken in Anwendung kommender Eisendrähte. Berlin 1837.
†) Phys. Elem. math. T. I. p. 375. — Biot, Traité de physique. T. I. p. 470.

hatte. (Siehe nachstehende Figur). Die Saiten, deren Elasticität untersucht werden sollte, wurden zwischen zwei Trägern, p, p′ horizontal befestigt. Wenn sie durch ein bekanntes Gewicht p′ so stark angespannt waren, daß sie eine gerade Linie bildeten, wurden sie auf der Seite des Gewichtes fest eingeklemmt. Die



Höhe des Drahtes wurde genau ermittelt und alsdann genau in der Mitte m desselben eine Wagschale befestigt, die man mit Gewichten beschwerte. Die Saite verlängert sich dadurch und nimmt die Gestalt a m′ b an. Diese Verlängerung läßt sich messen, wenn man die Entfernung m m′ kennt, welche durch directe Beobachtung gefunden werden kann. Um die Wagschale zu balanciren brachte s'Gravesande bei m einen feinen Faden an, welchen er oberhalb der Saite um eine Rolle schlang und daran ein Gewicht befestigte, welches die Saite um ebenso viel nach oben zog, als die Wagschale nach unten. An der Rolle war ein Zeiger befestigt, welcher auf einem Theilkreis in Graden anzeigte, wie tief die Wagschale, mit verschiedenen Gewichten belastet, herabsank, wodurch die Entfernung m m′ bestimmt ward. Um hieraus die Elasticität zu berechnen, muß man noch das Gewicht der Saite kennen.

Nennen wir beide Gewichte zusammen $= P$, die ursprüngliche Länge der Saite a m b $= 2\,L$, die Längen nach der Belastung a m′ und m′ b, welche einander gleich sind $= R$, die durch die Gewichte P hervorgerufene Senkung m m′ $= F$ und die Spannung, welche in beiden Saitenlängen a m′ und m′ b ebenfalls gleich sein wird $= T$: so wird offenbar das Gewicht P balancirt durch die Elasticität der Saite T, deren Theile dem Gewicht im Verhältniß des Cosinus $\frac{m\,m'}{a\,m}$ entgegen wirken. Folglich ist $T \,.\, \frac{F}{R}$ der Widerstand, welchen die Spannung jedes Theiles a m′ oder m′ b in der Richtung m m′ äußert und das Gleichgewicht ist hergestellt, wenn die spannende Kraft der Summe der Widerstände gleich ist, oder $2\,T \,.\, \frac{F}{R} = P$ wird, woraus sich $T = \frac{P\,.\,R}{2\,F}$ ergiebt. R kann hierin leicht gefunden werden, da es die Hypotenuse a m′ in dem rechtwinklichen Dreieck a m m′ bildet, worin a m und m m′ bekannt sind. Es ist folglich $R^2 = L^2 + F^2$ oder $R = \sqrt{L^2 + F^2}$. Da F in den Versuchen gegen L sehr klein war, so kann man, bei Entwickelung von $(L^2 + F^2)^{1/2}$ in eine convergirende Reihe, den angenäherten Werth $R = L\left(1 + \frac{F^2}{2\,L^2}\right)$ annehmen, der, in die Gleichung substituirt,

$T = \frac{P \cdot L}{2 F}\left(1 + \frac{F^2}{2 L^2}\right)$ giebt. Auch diese Klammer konnte bei s'Gravesande's Versuchen vernachlässigt werden, so daß man das einfache Verhältniß

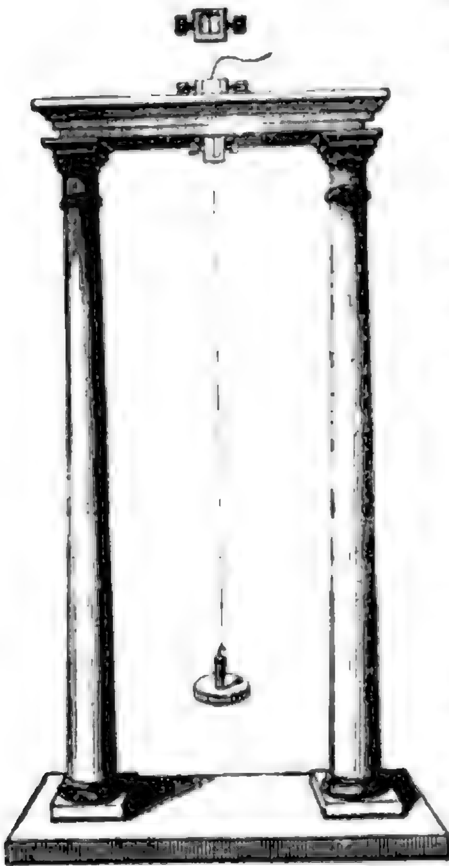
$$T = \frac{P \cdot L}{2 F} \text{ erhält.}$$

Die Versuche ergaben nun, daß die reagirenden Elasticitäten einer Metallsaite für gleiche Vermehrungen der Spannung, und ebenso die absoluten Verlängerungen der Saiten einander gleich waren, woraus folgt, daß die Verlängerungen den Spannungen direct proportional sind, daß folglich die Drähte und Stäbe von Metall innerhalb gewisser Grenzen vollkommen elastisch sind. Hieraus ergeben sich folgende Sätze für Körper von gleicher Materie:

1) Wenn Fasern von gleichem Querschnitte und ungleicher Länge durch gleiche Kräfte gestreckt oder verkürzt werden, so verhalten sich die Ausdehnungen oder die Zusammendrückungen, wie die Längen.

2) Wenn die Längen und Querschnitte gleich sind, so verhalten sich die Ausdehnungen oder Verkürzungen, wie die Kräfte.

3) Wenn die Längen gleich, die Querschnitte ungleich sind, und die Kräfte sich wie die Querschnitte verhalten, so sind die Ausdehnungen, oder Verkürzungen einander gleich.



Eine Bestätigung des obigen Gesetzes fand s'Gravesande auch bei Versuchen mit elastischen Blechen und Streifen, welche man als eine Anzahl neben einander liegender Drähte ansehen kann. Das gleiche Gesetz gilt auch für die Zusammendrückung der Körper; und es ist hier überflüssig, die Erscheinung der Elasticität für diesen Fall besonders zu untersuchen *).

Für stärkere Drähte hat Savart **) bei seinen Untersuchungen über die Longitudinalschwingungen der Stäbe diese Gesetze bewiesen. Er bediente sich dabei des beistehenden einfachen Apparates, an welchem die Drähte in verticaler Richtung an ihrem oberen Ende befestigt, an ihrem unteren hingegen mit Gewichten belastet sind. Die Verlängerungen wurden mit dem Kathetometer beobachtet. Folgende Versuchsreihe ist seiner Abhandlung entnommen ***).

*) Young, Lectures on Nat. Phil. T. 137. p. 137.

**) Untersuchungen über transversale und longitudinale Schwingungen von Stäben. Pogg. Ann. Bd. XIII. S. 127.

***) Vergl. Becquerel, Traité de physique. T. II. p. 217.

Namen der Körper	Totale Länge	Durchmesser	Spannende Kräfte.						
			0k	5k	10k	15k	20k	25k	30k
			Länge des gemessenen Theiles.						
	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Kupfer . . .	1,3190	2,77	950,53	950,59	950,65	950,71	950,77	950,84	950,90
Kupfer . . .	1,3190	2,77	475,25	475,28	475,33	475,36	475,38	475,42	475,45
Kupfer . . .	1,3000	1,30	950,59	950,84	951,16	951,45	951,70	952,00	952,27
Messing . .	1,3165	2,90	950,82	950,90	950,97	951,04	951,12	951,20	951,27
Stahl . . .	1,3184	2,77	950,23	950,29	950,34	950,38	950,41	950,46	950,50
Eisen . . .	1,3150	2,90	950,50	950,54	950,57	950,60	950,62	950,65	950,68
Glas . . .	0,976	3,817	936,69	936,76	936,83	936,91	936,96	937,04	937,12
Glas . . .	0,939	4,073	937,04	937,12	937,16	937,22	937,27	937,34	937,29
Glas . . .	0,980	7,55	937,39	937,40	937,43	937,45	937,46	937,48	937,50

Bei anderen Versuchen hatte Savart auf den Drähten von Decimeter zu Decimeter Merkmale angebracht, um die Verlängerung jeder Unterabtheilung zu messen. Auf diese Weise fand er, daß bei gleicher Spannung die gleichen Theile eines Drahtes nicht gleiche Verlängerung erlitten, woraus hervorgeht, daß in den dem Anschein nach vollkommen homogenen Körpern dennoch Ungleichheiten stattfinden. Trotz dieser Abweichung in den Unterabtheilungen bestätigte sich dennoch das allgemeine Elasticitätsgesetz innerhalb der Elasticitätsgrenzen für die Gesammtlänge des Stabes.

Interessant sind ferner die Versuche, welche Savart und M. Masson, von einander getrennt, über die Verlängerung von Stäben aus Kupfer, Messing, Stahl und Eisen unternahmen *). Sie kamen zu folgenden, theilweise verschiedenen Resultaten.

Belastung	Messing				Eisen				Stahl				Kupfer	
	Savart Länge	Verlängerung	Masson Länge	Verlängerung	Savart Länge	Verlängerung	Masson Länge	Verlängerung	Savart Länge	Verlängerung	Masson Länge	Verlängerung	Savart Länge	Verlängerung
kil.														
0	950,82		938,44		950,50		964,50		950,23		935,96		950,53	
5	950,90	8	938,504	6,4	950,54	4	964,544	4,4	950,29	4	936,00	4	950,59	6
10	950,97	7	938,60	9,6	950,57	3	964,56	1,6	950,34	5	936,040	4,6	950,65	6
15	951,04	7	938,64	4	950,60	3	964,62	6	950,38	4	936,08	3,4	950,71	6
20	951,12	8	938,726	8,6	950,62	2	964,638	1,6	950,41	3	936,124	4,6	950,77	6
25	951,20	8	938,75	2,4	950,65	3	964,67	3,4	950,46	5			950,84	7
30	951,27	7	938,92	17,0	950,68	3	964,72	5	950,50	4			950,90	6
35			938,95	3										
Mittlere Verlängerung .		7,51		7,285		3		3,60		4,166		4,15		6,166

*) Vergl. Becquerel, Traité de Physique. T. II. p. 218.

Die Zahlen zeigen, daß die Verlängerungen nicht gleichmäßig, sondern sprungweise zunehmen. Die große Differenz zwischen den Resultaten von Savart und Masson für Messing und Eisen sind, nach Masson, Folge der nachlassenden Ausdehnung (allongement discontinu), oder bleibenden Verlängerung, welche mit der Zeit eine neue Lagerung der Moleküle herbeiführt. Die Moleküle scheinen plötzlich ihre Gleichgewichtsposition zu verlassen, um eine andere anzunehmen, welche von der Intensität der Kraft abhängt und nur auf eine gewisse Zeit stabil ist.

Masson beobachtete dabei, daß der Einfluß der Temperatur auf die Elasticität innerhalb der Grenzen von — 4° bis + 20° C. Null sei. Der Einfluß des Härtens auf die Elasticität des Stahles hatte Coulomb gleichfalls für Null erklärt. Aber Masson hat in Folge mehrerer Versuche eine Differenz in der Ausdehnung gehärteter und ausgeglühter Körper nachgewiesen. Er arbeitete mit einer Uhrfeder, deren Ausdehnung er maß, sie dann ausglühte, und sodann die Ausdehnung aufs Neue untersuchte, indem er successive Belastungen von 4 Kilogr. anwandte. Er fand die mittlere Verlängerung für 1 Kilogr.

Für gehärtete Federn 0,01630 Millimeter.
Für geglühte Federn 0,01739 Millimeter.

Für die Praxis wichtig sind ferner die Versuche von Brix, welcher eine Reihe sehr sorgfältiger Untersuchungen über die Cohäsions- und Elasticitätsverhältnisse einiger, bei Hängebrücken in Anwendung kommender Eisendrähte anstellte *). Diese Versuche bestätigten die von Masson beobachtete Thatsache, daß, wenn bei der Ausdehnung fester Körper gewisse Grenzen überschritten sind, die Ausdehnung nicht nur bleibend wird, sondern auch an Größe viel schneller, als nach constantem Verhältniß zur Belastung, zunimmt. Demzufolge sind die Dehnungen aus zwei Theilen bestehend zu betrachten, von denen der eine Theil ebenso, wie innerhalb der Grenzen vollkommener Elasticität, der spannenden Kraft proportional ist, während der andere Theil, welcher sich als eine bleibende Ausdehnung zeigt, in viel größerem Verhältniß zunimmt, ohne jedoch nach Brix eine bestimmte Gesetzmäßigkeit zu zeigen.

Ein Eisendraht von 1,40 Linien Durchmesser besaß unter einer anfänglichen Belastung = 13 Einheiten (die Einheit der Belastung = 20,2 Pfund) eine Länge von 432,09 Linien. Wurde die Belastung zuerst auf 18, dann auf 23 erhöht, so stieg die Länge respective auf 432,23 und 432,37. Beide Versuche ergaben also übereinstimmend eine Ausdehnung von 0,0280 Linien auf die Einheit der vermehrten Belastung. Dabei ging der Draht, nachdem diese Belastung entfernt war, auf seine Normallänge von 432,09 Linien zurück. Wurde aber die Belastung auf 28 gesteigert, so ergab sich die Länge zu 432,52, also die Ausdehnung zu 0,43 Linien und nach Wegnahme der Belastung fand sich die Länge zu 432,10. Es war also eine bleibende Verlängerung von 0,01 Linien eingetreten. Der Ueberschuß der gesammten Ausdehnung über diese bleibende Dehnung 0,42 giebt für die Einheit der vermehrten Belastung wiederum 0,0280, wie früher.

*) In einer 1837 in Berlin erschienenen Abhandlung mit gleichem Titel. — Vergleiche Handwörterbuch der Chemie und Physik (Berlin 1842) Bd. I. S. 653. Artikel Elasticität von Minding.

Auf diese Art fand Brix nach einander:

Für die vermehrte Belastung von . . .	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50 Pfund
Eine bleibende Ausdehnung von	0	0	0,01	0,04	0,06	0,11	0,17	0,24	0,41	0,75 Linien.

Bei einer vermehrten Belastung von 55, also bei einer Spannung von (55 + 13) . 20,2 = 1373 Pfund zerriß der Draht. Die nach Abzug der bleibenden Ausdehnung übrig bleibende Dehnung des Drahtes zeigte beständig sehr nahe das gleiche, durch die Zahl 0,0280 ausgedrückte Verhältniß zur Belastung.

Diese Eigenschaft des Eisendrahtes, bleibende Ausdehnungen innerhalb gewisser Grenzen ohne Störung der Cohäsion anzunehmen, welche Masson mit allongement discontinu bezeichnete, nannte Brix die Verschiebbarkeit und bemerkte, daß sie neben der vollkommenen Elasticität besteht, ohne dieselbe zu stören oder ihr eine Grenze zu setzen. Hatte nach mehrstündiger Einwirkung der spannenden Kraft der Draht die ganze Ausdehnung angenommen, deren er bei dieser Spannung fähig war, und wurde derselbe sodann, nach Wegnahme der bisherigen Last, aufs neue allmälig fortschreitend belastet, so zeigte er bei geringeren Spannungen nur die, der Elasticität entsprechenden, jenen proportionalen Dehnungen, und eine bleibende Dehnung trat erst wieder ein, wenn bei fortschreitender Belastung jene erste Spannung überschritten wurde. Es trat also die Erscheinung der vollkommenen Elasticität, d. h. eine, der Spannung proportionale Ausdehnung, bei einer Reihe verschiedener Zustände desselben Drahtes ganz gleichmäßig ein, aber in verschiedenem Maße, je größer die dem Drahte schon beigebrachte Ausdehnung war. Hatte man z. B. dem Drahte durch die Belastung = 13 + 50 = 63, nach obiger Tafel, die bleibende Dehnung von 0,75 Linien beigebracht und die Belastung dann, nach Wegnahme der vermehrten Belastung = 50, von 13 anfangend wieder stufenweise gesteigert, so zeigte der Draht innerhalb der Grenzen der Belastung von 13 bis 63 wiederum eine, dieser völlig proportionale Ausdehnung.

W. Weber fand bei seinen interessanten Versuchen über die Elasticität der Seidenfäden *), welche wegen ihres Einflusses auf die Bestimmung des Wesens der Elasticität besondere Aufmerksamkeit verdienen, ganz ähnliche Resultate. Es geht daraus hervor, daß, wie bei der Luft die Elasticität bei zunehmendem Drucke anfangs zunimmt, später abnimmt, bei vermindertem Drucke aber das Umgekehrte stattfindet, auch ein ähnliches Verhalten bei festen und namentlich bei organischen Körpern sich zeigt. Diese Eigenschaft nennt Weber die Nachwirkung und v. Gerstner, der dieselbe an Eisendrähten beobachtete, die bleibende Verlängerung. Die Versuche des Letzteren über die Festigkeit des Eisens heben wir noch besonders hervor, weil v. Gerstner die bleibende Verlängerung desselben zuerst mathematisch bestimmte **).

*) Poggend. Ann. Bd. XXXIV. S. 247. Bd. LIV. S. 1.

**) Handbuch der Mechanik. Bd. I. S. 262. — Vergleiche August-Fischer's Lehrbuch der mechanischen Naturlehre. Bd. I. S. 104 und Kayser's Handbuch der Statik (Carlsruhe 1836) S. 339 ff. und S. 350.

Ritter v. Gerstner bediente sich zur Untersuchung der Elasticität eines einfachen Hebelapparates, den er zur Bestimmung der Festigkeit der Eisendrähte ꝛc. gleichfalls anwandte. Der Apparat gleicht im Wesentlichen einer Schnellwage mit Laufgewicht, an deren kurzem Arme der zu untersuchende Draht befestigt ist, während am längeren Hebelsarm die Belastung durch Verschiebung des Laufgewichtes, mittelst Gradeintheilung bestimmt wird. Der kürzere Hebelsarm stand zum längeren im Verhältniß von $^1/_{12} : 3^1/_2$ Meter und es war an ersterem noch ein langer Zeigerarm befestigt, welcher in 54facher Vergrößerung die bewirkten Ausdehnungen des zu untersuchenden Drahtes anzeigte. Die nähere Beschreibung des Apparates siehe im Artikel Festigkeit.

Mit Hülfe dieses Apparates wurden die Verlängerungen eines ungefähr 1,5 Meter langen eisernen Klavierdrahtes von 66 Millimeter Durchmesser genau beobachtet, während durch Fortrücken des Laufgewichtes die Spannung bei jedem neuen Versuche um 224 Dekagramme, (4 Pfd. Wien.) zunahm. Nach jeder Vermehrung des Gewichtes wurde der ganze Versuch von Anfang an wiederholt, so daß auch die Abnahme der Elasticität beobachtet werden konnte. Die Spannung wirkte jedesmal 10 bis 12 Minuten auf den Draht. Folgende Tafel stellt, nach August, die zu jedem Versuche gehörigen Ausdehnungen in Milliontheilen der ursprünglichen Länge, die genau 1,52783 Meter betrug, übersichtlich zusammen.

Nummer des Versuches	Verlängerung des Drahtes, in Millimetertheilen der Gesammtlänge, bei der Spannung													Bleibende Verlängerung nach dem Versuch
	p	2 p	3 p	4 p	5 p	6 p	7 p	8 p	9 p	10 p	11 p	12 p	13 p	
1	37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
2	37	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3
3	40	77	115	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5
4	45	80	117	155	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8
5	53	88	124	160	197	—	—	—	—	—	—	—	—	16
6	61	98	133	168	205	241	—	—	—	—	—	—	—	24
7	69	106	143	179	216	252	288	—	—	—	—	—	—	32
8	85	120	157	193	229	266	302	339	—	—	—	—	—	48
9	101	136	173	208	244	280	317	354	390	—	—	—	—	64
10	120	157	192	229	267	301	336	373	411	445	—	—	—	83
11	144	181	219	253	288	325	363	400	435	472	507	—	—	107
12	176	212	248	285	320	356	392	429	466	502	538	574	—	139
13	216	252	288	324	360	396	432	468	504	540	575	613	651	179

Die Gewichtseinheit, um welche jedesmal die Spannung vermehrt wurde, war $p = 2,24$ Kilogr. Man ersieht aus der Tabelle, daß der Draht von 1,52783 Meter Länge beim ersten Versuche nur mit $p = 2,24$ Kilogr. beschwert war. Die Verlängerung war dabei 37 Milliontel der Gesammtlänge, eine bleibende Verlängerung fand aber nicht statt. Nachdem das Gewicht beseitigt und der Draht wieder zu seiner ursprünglichen Länge zurückgekehrt war, brachte man abermals die Spannung p an, erreichte dadurch wiederum eine Ausdehnung von 37 Milliontel der Gesammtlänge, die sich aber bei Anbringung von 2 p auf

75 Millionteł steigerte. Nachdem das ganze Gewicht wiederum beseitigt war, zeigte sich eine bleibende Verlängerung von 3 Millionteł der Gesammtlänge. Das beim 3. Versuch wiederum angebrachte Gewicht p brachte also nunmehr eine Verlängerung von 37 + 3 = 40 Millionteł, 2 p die Verlängerung bis 77 Millionteł und 3 p die Verlängerung 115 Millionteł mit einer bleibenden Verlängerung von 5 Millionteł hervor u. s. f.

Man ersieht daraus, daß die allmälige Vermehrung des spannenden Gewichtes den Draht bleibend ausgedehnt hat, wobei gleiche Gewichtszusätze annähernd gleiche Verlängerungen hervorbrachten, so daß der, aus den Grenzen vollkommener Elasticität herausgetretene Draht dennoch fortdauernd elastisch blieb. Die größten Ausdehnungen bei jedem Versuche wuchsen keineswegs mit den Spannungen proportional. Nennen wir das spannende Gewicht in Kilogrammen g, und die dadurch hervorgebrachten Verlängerungen, in Theilen der ganzen Länge ausgedrückt, d, so ist die Formel, welche befriedigend genau auf die ganze Beobachtungsreihe paßt,

$$g = 61966\, d - 2633070\, d^2$$

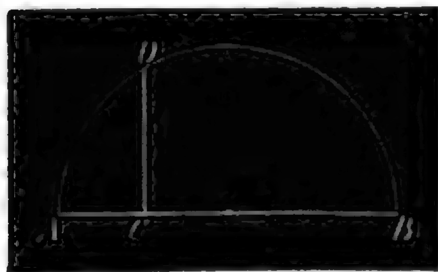
oder im Allgemeinen

$$g = \alpha\, d - \beta\, d^2$$

wobei die Coefficienten α und β bei jedem elastischen Stoff und für jede Beobachtungsreihe besonders durch Versuche zu ermitteln sind.

Hieraus läßt sich leicht die größte Verlängerung berechnen, welche ein elastischer Körper erlangen kann. Es ist nämlich

$$g = \beta\, d\left(\frac{\alpha}{\beta} - d\right) \text{ oder } \frac{g}{\beta} = d\left(\frac{\alpha}{\beta} - d\right)$$



Denkt man sich nun einen Halbkreis dessen Durchmesser $\frac{\alpha}{\beta}$ = A B ist (siehe beistehende Figur) und von diesem Durchmesser ein Stück A C = d abgeschnitten und in C den Perpendikel D C errichtet, so ist

$$DC^2 = AC \cdot CB = d\left(\frac{\alpha}{\beta} - d\right).$$

D C wird am größten, wenn A C = ½ A B oder

$$d = \frac{\alpha}{2\beta} \text{ ist.}$$

Das spannende Gewicht hat also unter dieser Voraussetzung seinen größten Werth G und bringt nothwendigerweise die größte Verlängerung D hervor. Es ist also

$$G = \alpha\, D - \frac{\alpha}{2} D \text{ oder } \frac{G}{D} = \frac{\alpha}{2}$$

das heißt

$$\alpha = \frac{2\, G}{D} \text{ und } \beta = \frac{\alpha}{2\, D} = \frac{G}{D^2}.$$

Es ist daher die allgemeine Gleichung

$$g = \frac{2\,G}{D} \cdot d - \frac{G}{D^2} \cdot d^2,$$

oder

$$\frac{g}{G} = \frac{d}{D}\left(2 - \frac{d}{D}\right);$$

darin bedeutet G das Gewicht, welches ein elastischer Draht überhaupt zu tragen vermag, D die größte Verlängerung, welche er durch eine solche Spannung erhält, g und d hingegen Gewicht und Verlängerung bei einem beliebigen Versuche. Wenn d verhältnißmäßig gegen D sehr klein, der Bruch $\frac{d}{D}$ gegen 2 also zu vernachlässigen ist, so wird

$$\frac{g}{G} = 2\,\frac{d}{D}.$$

Es verhält sich sodann
$g : d = G : D$ und für ein kleines $g_,$ und $d_,$ ebenfalls $g_, : d_, = G : D$. Also ist $d : d_, = g : g_,$, worin sich das Hauptgesetz der Elasticität wiederum vollkommen darstellt.

Aus der Gleichung

$$\frac{g}{G} = \frac{2\,d}{D} - \frac{d^2}{D^2}$$

ergiebt sich noch die allgemeine Gleichung für die Abhängigkeit der Ausdehnung d von dem Gewicht g

$$\frac{d}{D} = 1 - \sqrt{\left(1 - \frac{g}{G}\right)}.$$

Da in den einzelnen Versuchsreihen die Verlängerungen den Ausdehnungen ziemlich genau proportional sind, so bieten die berechneten Formeln auch ein Mittel dar, die bleibende Verlängerung nach jedem Versuche zu bestimmen. Nennt man $d_,$ die größte, bei irgend einem Versuch durch das Gewicht $g_,$ erlangte Ausdehnung, so ist nach Obigem auch

$$d_, = D\left[1 - \sqrt{\left(1 - \frac{g_1}{G}\right)}\right].$$

Bei einer, dem Gewichte proportionalen Ausdehnung war aber

$$\frac{g}{G} = 2\,\frac{d}{D}.$$

Wenn also $d_{,,}$ die Verlängerung bedeutet, welche im vollkommen elastischen Zustande durch das Gewicht $g_,$ bewirkt würde, so ist

$$d_{,,} = \frac{g_,\,D}{2\,G}.$$

Ziehen wir diese Verlängerung von der durch die höchste Spannung hervorgebrachten ab, so ist die bleibende Verlängerung δ ausgedrückt durch

$$\delta = d_, - d_{,,} = \frac{D}{2}\left[1 - \sqrt{\left(1 - \frac{g_1}{G}\right)}\right]^2.$$

Wäre der Körper vollkommen elastisch, so wäre $\delta = 0$, d. h. $d_{,} = d_{,,}$. Wird $g_{,} = G$ so ist $\delta = \frac{D}{2}$.

Diese Formeln schließen sich mit großer Uebereinstimmung an die v. Gerstner'schen Beobachtungen an. Für die mitgetheilten Versuche war

$$D = \frac{\alpha}{2\beta} = \frac{61966}{2 \,.\, 2633070} = \frac{1}{85},$$

$$\text{und } G = \frac{\alpha}{2} \,.\, D = \frac{\alpha^2}{4\beta} = \frac{(61966)^2}{4 \,.\, 2633070} = 316^1/_8 \text{ Klgr.}$$

Sobald man also den Draht von 66 Millim. Durchmesser und 1,5 Meter Länge mit $316^1/_8$ Klgr. beschwerte, dehnte er sich um den 85sten Theil seiner Länge aus und war dem Zerreißen nahe.

Dies Verfahren ist folglich ein Mittel, die absolute Festigkeit eines Körpers aus seiner Elasticität kennen zu lernen. Da alle festen Körper, deren Theile durch einen Zug getrennt werden, sich zuvor ausdehnen, ehe sie zerreißen, so ist schon daraus ersichtlich, daß auf die absolute Festigkeit der Körper die Elasticität derselben großen Einfluß haben muß. (S. d. Art. Festigkeit.) Fischer *) u. A. scheiden daher die Körper in dieser Beziehung in spröde- und dehnbar-elastische. Die spröde-elastischen behalten nach jeder Ausdehnung, im Fall sie nicht zerspringen, ihre frühere Gestalt möglichst vollkommen bei; die dehnbar-elastischen dagegen erhalten die bleibende Verlängerung, in der Richtung des Zuges, ohne ihre Elasticität zu verlieren.

Aehnliches, wie bei der Dehnungs-Elasticität, geht bei der Druck-Elasticität vor sich, nur im entgegengesetzten Sinne. Auch hier muß die dauernde und vorübergehende Zusammendrückbarkeit unterschieden werden, welche erstere den dehnbar-elastischen Körpern zukommt, deren Gestalt durch mechanischen Druck oder Stoß bleibend verändert wird, während letztere, welche mit der Erregungsursache wieder verschwindet, den spröden Körpern zukommt, welche sich durch Druck, Stoß ꝛc. nicht bleibend ändern lassen. Durch die bleibende Zusammendrückung tritt zugleich eine Zunahme in der Dichtigkeit der Körper ein, da deren Theile gezwungen sind, auf einen kleineren Raum sich zusammen zu drängen. Daß z. B. die Metalle durch Stoß oder Druck bleibend comprimirt werden können, ist ein Beweis ihrer unvollkommenen Elasticität, da man sie wohl graviren, aber nicht zu Münzen ausprägen und getriebene Arbeit ꝛc. aus ihnen fertigen könnte, wenn sie vollkommen elastisch wären. Weil diese Beobachtungen sich auf die meisten festen Körper, selbst auf sehr elastische Körper, wie z. B. Leder (aus dem man ebenfalls Münzen geprägt hat) anwenden lassen, so muß man auch in Bezug auf die Druckelasticität den allgemeinen Satz anwenden, daß es für jeden festen Körper allerdings einen gewissen Grad der Zusammendrückbarkeit giebt, unterhalb dessen er vollkommen elastisch ist, daß aber, wenn diese

*) August-Fischer's Lehrbuch der mechanischen Naturlehre. Bd. I. S. 103.

verschieden umfangreiche Grenze überschritten ist, alle festen Körper bleibend zusammendrückbar, also unvollkommen elastisch sind.

Die dabei zunehmende Dichtigkeit der festen Körper ist noch wenig erforscht. Dauerte die Zusammendrückung bis ins Unendliche fort, mit beständig gleichem Drucke auf alle Theile der Oberfläche, so müßte entweder ein Zustand unendlicher Dichtigkeit oder eine Zerstörung des Zusammenhanges der Theile aller Körper eintreten. Ist der Druck aber ungleich oder einseitig, so bedarf es keiner sehr großen Kraftäußerungen, um auch die zähesten Substanzen zu zerquetschen oder zu zerbröckeln. Die Resultate der hierauf bezüglichen zahlreichen Untersuchungen gehören in den Artikel Festigkeit.

Daß der Widerstand der Druckelasticität in gleichem Verhältniß stehe mit den Raumveränderungen, welche die Körpertheile erleiden, oder daß gleiche Druckvermehrungen gleiche Dichtigkeitszunahmen bei gleichen Raumverminderungen entsprechen, kann folglich nur innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität richtig sein, was auch ohne Versuche klar ist. Wenn man z. B. eine schraubenförmig oder im Zickzack gebogene Feder von Stahl oder Messing durch aufgelegte Gewichte zusammendrückt, so kann die Feder dem allgemeinen Elasticitätsgesetz nur unter gewissen Einschränkungen folgen. Denn wenn z. B. die Feder durch ein aufgelegtes Gewicht von 1 Klgr. um $^1/_{100}$ ihrer Länge verkürzt würde, so müßte sie, wenn das Elasticitätsgesetz vollkommen richtig wäre, durch 100 aufgelegte Kilogramme ihre ganze Länge verlieren, was unmöglich ist. Man kann sogar nicht behaupten, daß das Elasticitätsgesetz innerhalb der Grenzen vollkommener Elasticität schlechthin genau sei, sondern nur, daß es auch hier nur mit großer Annäherung, unter Voraussetzung keiner Reibung der Theilchen der festen Körper, richtig sei.

Durch directe Versuche, sofern sie sich nicht auf die Dichtigkeit, oder die Festigkeit der Körper gegen Druck beziehen, ist hier nur wenig zu ermitteln. Die hauptsächlichsten Untersuchungen rühren hier von den Mathematikern her, und wurden, meist in Bezug auf die Theorie der Elasticität, zuerst ausführlich mathematisch von Navier *), Cauchy **) und Poisson ***) geführt. Wir heben aus der Theorie des Letzteren die einflußreichsten und unmittelbarsten Resultate im Folgenden kurz hervor.

Wenn eine hohle Kugel von gleicher Masse und constanter Dicke von innen und außen einem gegebenen Drucke unterworfen wird, so bestimmt man auf folgende Art die Veränderungen, welche sie durch die Wirkung des Druckes erfährt. Es sei R (siehe beistehende Figur) der ursprüngliche Werth des äußeren Radius CR, R′ sein Werth nach dem Druck, r die ursprüngliche Geltung des inneren Radius Cr, r′ sein Werth nach der Zusammendrückung, H der Druck auf jede Einheit der äußeren Oberfläche, h der Druck auf jede Einheit der inneren Oberfläche, A ein constanter Werth, welcher von der Beschaffenheit der Substanz abhängt, so ist:



*) Navier, Résumé de leçons sur l'application de la mécanique. Paris 1834. — Mémoires de l'Académie des sciences 1828 u. 1829.

**) Exercises de mathématiques. T. III. u. IV.

***) Mémoires de l'Académie. T. VIII.

$$R' = R\left[1 - \frac{4\,(H R^3 - h r^3) + 5\,(H - h)\,r^3}{20\,A\,(R^3 - r^3)}\right] \text{ und}$$

$$r' = r\left[1 - \frac{4\,(H R^3 - h r^3) + 5\,(H - h)\,R^3}{20\,A\,(R^3 - r^3)}\right].$$

1) Erfährt die hohle Kugel von außen und innen gleichen Druck, so hat man $H = h$, folglich für die Werthe von R' und r'; $R' = R\left(1 - \frac{H}{5\,A}\right)$ und $r' = r\left(1 - \frac{H}{5\,A}\right)$. Folglich erleiden für diesen Fall der große und kleine Radius verhältnißmäßig dieselbe Zusammenziehung, und diese Zusammenziehung steht im directen Verhältniß des Druckes, und im indirecten Verhältniß des constanten Werthes von A.

2) Um die Formeln für eine gefüllte Kugel abzuleiten, braucht man nur $r = 0$ zu setzen, so erhält man: $R' = R\left(1 - \frac{H}{5\,A}\right)$ woraus folgt, daß bei demselben Druck eine hohle und eine volle Kugel aus gleichem Stoffe gleiche Zusammenziehungen erleiden.

3) Ist der innere Druck $= 0$, also $h = 0$, so entstehen für R' und r' die Werthe $R' = R\left[1 - \frac{H\,(4\,R^3 + 5\,r^3)}{20\,A\,(R^3 - r^3)}\right]$ und $r' = r\left[1 - \frac{9\,H R^3}{20\,A\,(R^3 - r^3)}\right]$. Also erfährt der äußere Radius immer eine kleinere Zusammenziehung, als der innere, und sobald er im Verhältniß zu diesem sehr groß ist, beträgt seine Zusammenziehung nur $^4/_9$ davon.

4) Man kann immer auf das Innere einen solchen Druck ausüben, daß der innere Radius keine Veränderung erleidet; das Verhältniß des inneren Druckes zum äußeren darf nur folgendes sein: $\frac{h}{H} = \frac{9\,R^3}{5\,R^3 + 4 r^3}$. Das Verhältniß der Drucke, welches diese Wirkung hervorbringt, hängt also von dem Verhältniß der inneren und äußeren Radien ab. Hat man z. B. $R = 2r$, so braucht man nur inwendig einen Druck anzubringen, der $^{18}/_{11}$ des äußeren Druckes beträgt, wenn der innere Radius keine Veränderung erleiden soll.

5) Man kann auch den Druck dergestalt ausüben, daß der äußere Radius derselbe bleibt, dann braucht nur $\frac{h}{H} = \frac{4\,R^3 + 5\,r^3}{9\,r^3}$ zu sein. Ist z. B. $R = 2\,r$, so findet man $\frac{h}{H} = \frac{37}{9}$. Soll also hier der äußere Radius sich nicht verändern, so braucht man inwendig einen Druck mehr als vierfach so stark, als der äußere Druck.

6) Wäre die innere Hohlung dieser Kugel mit einer homogenen festen oder flüssigen Substanz angefüllt, für welche die constante, A analoge Größe, einen

größeren oder geringeren Werth als A, nämlich A′ hätte, so würden für die äußeren und inneren Radien nach der Zusammendrückung folgende Werthe entstehen:

$$R' = R\left[1 - \frac{H(4A + 5A')R^3 - 5H(A' - A)r^3}{5AD}\right] \text{ und } r' = r\left[1 - \frac{9HR^3}{5D}\right],$$

wobei der Werth von $D = A'(5R^3 + 4r^3) + 4A(R^3 - r^3)$. Also, wendet man den Werth von r′ zugleich auf die letzte innere Schicht der Umhüllung R r und auf die erste äußere Schicht des Kernes C r an, so erhält man zugleich die Zusammendrückbarkeit des Kernes, welche von dem constanten Werth A′ abhängt, der der Substanz angehört. Ist $A' = A$, so sieht man leicht, daß der Kern zusammengedrückt wird, als träfe ihn unmittelbar der äußere Druck H. Folglich wird eine flüssige Kugel nach denselben Gesetzen zusammengedrückt, wie eine feste, und selbst bis auf ein und dieselbe Größe, wenn der constante Werth A′ der Substanz derselbe ist.

Ist $A' = 0$, so kommt man auf dieselben Werthe von R′ und r′ zurück, welche so eben für $h = 0$ sich ergaben, und zwar nothwendig, weil, wenn man $A' = 0$ setzt, man der Substanz des Radius eine unbegrenzte und widerstandslose Zusammendrückbarkeit zuschreibt. Für alle die Werthe von A′, welche zwischen 0 und A liegen, sind die Werthe von A′ und r′ in denen begriffen, welche $h = 0$ und $h = H$ entsprechen, woraus folgt, daß der Kern immer weniger zusammengedrückt wird, als wenn der Druck H unmittelbar auf ihn gewirkt hätte.

Hat man endlich $A' > A$, so werden die Werthe von R′ und r′ analog denen bei $h > H$, d. h. man kann immer einen Werth von h finden, höher als von H, welcher R′ und r′ dieselben Werthe geben würde, als die Voraussetzung $A' > A$. Sucht man nun die Wirkung, welche der äußere Druck H, unmittelbar auf den Kern wirkend, hervorbringen würde, so würde man sie immer geringer finden, als die durch das Zwischenmittel der festen Umhüllung hervorgebrachte Wirkung. Dieses sonderbare Resultat wird durch die Beobachtung erklärlich, daß der Kern, wenn er minder zusammendrückbar ist, als die sphärische Umhüllung, den inneren Radius C r verhindert, die ganze ihm zukommende Verkleinerung anzunehmen, sich also verhält, wie ein bestimmter innerer Druck, größer als der äußere; die Begrenzung dieser Wirkung erhält man bei der Voraussetzung $A' = \infty$, d. h. wenn man den Kern als vollkommen unzusammendrückbar annimmt. Dann ist der innere Radius constant, und da man ihn auch constant machen kann durch einen Druck $h = H \dfrac{9R^3}{5R^3 + 4r^3}$, so leuchtet ein, daß der Kern diesen Druck erfahren muß. Deshalb muß er mehr zusammengedrückt sein, als wenn er den äußeren Druck H unmittelbar erführe.

Um die Ableitungen nach dieser Theorie durch die Erfahrung zu bestätigen, muß man im Stande sein, den constanten Werth A zu bestimmen, welcher jede Substanz im Verhältniß zu ihrer Zusammendrückbarkeit bezeichnet. Poisson *) giebt dafür die Formel: $A = \dfrac{2L}{5as}\left(P + \dfrac{P'}{2}\right)$, welche sich leicht auf die

*) Poisson in den Mémoires de l'Académie des sciences, 1828 und 1829.

als Fäden oder Stangen darstellbaren Substanzen anwenden läßt. Denn, hat man einen Faden, dessen Länge L, Gewicht P′, Schnitt s ist und den man zuerst an seinem oberen Ende vertical befestigt, dann an seinem unteren Ende mit einem Gewichte P beschwert, und beobachtet man hierauf die Verlängerung, welche er erfährt, so braucht man nur, um den Werth von A zu erfahren, alle diese gegebenen Werthe in der Formel zu substituiren.

Nimmt man im Allgemeinen bei dieser ganzen Theorie an, daß die durch bestimmte Kräfte hervorgebrachte Zusammendrückbarkeit gleich sei der Ausdehnbarkeit, welche durch dieselben Kräfte bewerkstelligt würde, so sieht man, daß die vorhergehende Formel mittelst der Zusammendrückbarkeit auch den Werth von A geben könnte. Denn vernachlässigt man $\frac{P'}{2}$, welches immer im Verhältniß zu P sehr klein sein wird, und nimmt dafür an, daß das Gewicht P die Stange in ihrer Längenrichtung zusammendrücke, wobei a die Zusammenziehung bezeichnen möge, so hat man $A = \frac{2\,L\,P}{5\,a\,s}$. Aus dem Einflusse des Gewichts auf die Oberfläche s ergiebt sich, daß der Druck H auf die Oberfläche ist $H = \frac{P}{s}$, setzt man ebenso $L = 1$, so hat man $A = \frac{2\,H}{5\,a}$.

Diese Formel begründet ein merkwürdiges Verhältniß zwischen der Zusammenziehung a, welche eine an ihrem Ende gepreßte und in ihrem übrigen Umfange freie Stange erfährt, und zwischen der, welche eine Kugel von derselben Substanz erleidet, welche demselben Druck H auf ihrer ganzen Oberfläche ausgesetzt ist. Denn wir fanden für diesen letzteren Fall $R' = R\left(1 - \frac{H}{5\,A}\right)$. Daraus wird, wenn man A substituirt, $R' = R\left(1 - \frac{a}{2}\right)$, woraus man ersieht, daß die Zusammenziehung, welche eine nur an ihren Enden gepreßte Stange erfährt, doppelt so groß ist, als wenn dieselbe Stange denselben Druck an allen Punkten ihrer Oberfläche erführe.

Das Volumen der zusammengedrückten Kugel ist $v\left(1 - \frac{3\,a}{2}\right)$, wenn v ihr ursprüngliches Volumen war. Hieraus folgt endlich, daß, wenn man die lineare Verlängerung einer mit einer gewissen Kraft an ihren Enden ausgezogenen Substanz kennt, man davon die Hälfte nehmen muß, um die lineare Zusammenziehung derselben Substanz, wenn sie an allen Punkten denselben Druck erfährt, zu kennen, und $^3/_2$, um die Zusammenziehung des Volumens zu erfahren. Nach diesen Grundsätzen werden die Correctionen bei den piezometrischen Beobachtungen vorgenommen. (Siehe Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten.)

Neuere mathematische Untersuchungen über diesen Gegenstand wurden von Lamé und Clapeyron *) angestellt. Wir können diese, so wie die folgenden neuesten Untersuchungen hier nicht verfolgen, da sie in das Gebiet der Mathematik gehören und zu viel Raum in Anspruch nehmen würden. Regnault stellte Versuche an über die cubische Zusammendrückung starrer Hüllen, auf welche wir später zurückkommen. Seine Untersuchungen über die Zusammendrückbarkeit des Wassers und Quecksilbers in Glas- und Messinggefäßen **) waren nämlich so eingerichtet, daß gleichzeitig die Volumenänderung der Substanz der Gefäßwände daraus entnommen werden konnte. Dadurch wurden die früher theilweise auf willkührlichen Voraussetzungen beruhenden Correctionen wegen der Zusammendrückbarkeit der Gefäßwände bei piezometrischen Messungen berichtigt. Die aus Regnault's Versuchen abgeleiteten Formeln wurden von Lamé entwickelt.

Maxwell ***) unterwarf in neuester Zeit die mathematischen Arbeiten einer großen Anzahl von Mathematikern und Physikern über Elasticität einer kritischen Vergleichung, untersuchte unter Anderm auch die Zusammendrückung einer hohlen Kugel, welche inneren und äußeren Druckkräften unterworfen ist, und verglich dabei seine Resultate mit denen von Regnault und Lamé. Hauptsächlich machte Maxwell darauf aufmerksam, daß die Voraussetzungen worauf andere Mathematiker, namentlich Navier, die Gleichungen des Gleichgewichtes elastischer Körper gründeten, zu eng seien, weil sie nur eine Constante einschlössen, welche sich mit der Natur der Substanz ändere. Feste Körper suchen aber nicht nur ihr Volumen, sondern auch ihre Gestalt zu behaupten, und da die nämliche Substanz in verschiedenen Zuständen der Festigkeit erscheinen kann, so ist es nach Maxwell unerläßlich, zwei Constante in die Fundamentalgleichung aufzunehmen. Maxwell gründet seine Gleichungen auf die beiden folgenden Bedingungen, bei denen vorausgesetzt ist, daß 3 Druckkräfte nach 3 zu einander senkrechten Axen auf das Massenelement eines elastischen Körpers wirken:

1) Die Summe der 3 Druckkräfte ist proportional der Summe der 3 Zusammendrückungen, welche sie erzeugen.

2) Die Differenz zwischen 2 Druckkräften ist proportional der Differenz zwischen den entsprechenden Zusammendrückungen.

Die hieraus gewonnenen Gleichungen unterscheiden sich von denen Navier's und Poisson's nur dadurch, daß in ihnen nicht ein unveränderliches Verhältniß zwischen linearer und cubischer Zusammendrückung oder Ausdehnung vorausgesetzt ist. Denn die mitgetheilten Bedingungen geben folgende Gleichungen. Bezeichnen wir mit α, β, γ die 3 Hauptaxen, mit P_1, P_2, P_3 die angewendeten Druckkräfte und mit $\frac{\delta\alpha}{\alpha}$, $\frac{\delta\beta}{\beta}$, $\frac{\delta\gamma}{\gamma}$ die Zusammendrückungen nach den 3 Hauptaxen, so ist

*) Sur l'équilibre intérieur des corps solides homogènes. — Crelles Journal f. Math. T. VII. p. 252. — Repert. für Physik. Bd. V. S. 35.

**) Relation des expériences entreprises pour déterminer les principales lois physiques et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur. Paris 1847.

***) Edinburgh Transactions. T. XX. Part. I. p. 87.

$$P_1 + P_2 + P_3 = 3\,\mu\left(\frac{\delta\alpha}{\alpha} + \frac{\delta\beta}{\beta} + \frac{\delta\gamma}{\gamma}\right)$$

$$P_1 - P_2 = m\left(\frac{\delta\alpha}{\alpha} - \frac{\delta\beta}{\beta}\right)$$

$$P_2 - P_3 = m\left(\frac{\delta\beta}{\beta} - \frac{\delta\gamma}{\gamma}\right)$$

$$P_3 - P_1 = m\left(\frac{\delta\gamma}{\gamma} - \frac{\delta\alpha}{\alpha}\right)$$

Wenn die Verschiebungen im Sinne der Coordinatenaxen δx, δy, δz und die inneren Anziehungen nach diesen Axen X, Y, Z genannt werden, so sind die Bedingungsgleichungen:

$$(\mu + \frac{1}{6}m)\frac{d}{dx}\left(\frac{d\,\delta x}{dx} + \frac{d\,\delta y}{dy} + \frac{d\,\delta z}{dz}\right) + \frac{m}{2}\left(\frac{d^2\delta x}{dx^2} + \frac{d^2\delta y}{dy^2} + \frac{d^2\delta z}{dz^2}\right) + \varrho\,X = 0$$

$$(\mu + \frac{1}{6}m)\frac{d}{dy}\left(\frac{d\,\delta x}{dx} + \frac{d\,\delta y}{dy} + \frac{d\,\delta z}{dz}\right) + \frac{m}{2}\left(\frac{d^2\delta x}{dx^2} + \frac{d^2\delta y}{dy^2} + \frac{d^2\delta z}{dz^2}\right) + \varrho\,Y = 0$$

$$(\mu + \frac{1}{6}m)\frac{d}{dz}\left(\frac{d\,\delta x}{dx} + \frac{d\,\delta y}{dy} + \frac{d\,\delta z}{dz}\right) + \frac{m}{2}\left(\frac{d^2\delta x}{dx^2} + \frac{d^2\delta y}{dy^2} + \frac{d^2\delta z}{dz^2}\right) + \varrho\,Z = 0$$

Diese Gleichungen gehen in die von Cauchy *) über, wenn man $m = k$ und $\mu - \frac{m}{2} = K$ setzt. Nennt man nämlich π die wirkende Druck- oder Zugkraft, ε die lineare Verlängerung im Sinne dieser Kraft, v die Volumenänderung und k und K die Coefficienten der linearen und cubischen Zusammendrückbarkeit oder Ausdehnbarkeit, so ist die Grundhypothese Cauchy's über die elastische Wirkung ausgedrückt durch die Gleichung.

$$\pi = k\,.\,\varepsilon + K\,.\,v.$$

Ebenso stimmen die Maxwell'schen Gleichungen genau mit jenen überein, welche Stokes **) aus seinen Betrachtungen über Bewegung in Flüssigkeiten abgeleitet hat, wenn man $A = 3\,\mu$ und $B = \frac{m}{2}$ setzt.

Diesen, hier nur andeutungsweise angeführten mathematischen Betrachtungen gegenüber stehen die neuesten praktischen Untersuchungen über die mechanischen Eigenschaften des Gußeisens, welche im Jahre 1850 in England veröffentlicht wurden und für die Bestimmung der Elasticitätsverhältnisse von Wichtigkeit sind. Die Versuche wurden von Stephenson, Fairbaim und Hodgkinson angestellt, behufs der Feststellung der constructiven Verhältnisse der eisernen Conway und Britanniaröhrenbrücken. Sie wurden von Clarke veröffentlicht ***)

*) Exercises de mathématiques. T. III. p. 180. vom Jahre 1828.

**) Cambridge Philos. Trans. T. VIII. part. 3.

***) The Britannia and Conway Tubular bridges, by Clarke. London 1850. Report of the commissioners appointed to inquire into the application of iron to the railway structure.

und von Tate einer weiteren mathematischen Prüfung und Begründung unterworfen. v. Weber *) hat die hauptsächlichsten Resultate dieser Untersuchungen für Deutschland bearbeitet. Couche **) hat mit Benutzung der englischen Quellen die Resultate durch Hinzufügung eigener Beobachtungen vermehrt und zur Grundlage einer namentlich für die Technik sehr wichtigen Abhandlung genommen. Der größte Theil dieser Arbeit gehört seinem Wesen nach in den Artikel Festigkeit, und wir führen daher hier nur die Resultate an, welche unmittelbar das Wesen der Elasticität berühren.

Zunächst fand die, von Watt und Anderen schon zu Anfang dieses Jahrhunderts gemachte Beobachtung Bestätigung, daß Gußeisen der Zusammendrückung einen weit größeren Widerstand entgegensetzt, als der Ausdehnung, wodurch die Form zu gußeisernen Trägern im Allgemeinen bedingt ist. Ein ähnliches Verhältniß stellte sich nach Fairbaim's und Hodgkinson's Versuchen, wenn auch in geringerem Maße, für Schmiedeeisen heraus.

Bei den Zerreißungsversuchen an Gußeisen ergab sich, bei einer absoluten Festigkeit von 11 Klgr. auf den Quadratmillimeter, eine Verlängerung im Augenblick des Zerreißens von 0,00162. Die Resultate der Versuche über die Verlängerung von Gußeisenstäben konnten im Allgemeinen mit großer Annäherung durch die Formel

$$P = 9754 \cdot d - 2035202 \cdot d^2$$

ausgedrückt werden, worin P die Belastung in Kilogrammen bedeutet, welche die Längeneinheit um den Bruchtheil d ausdehnt. (Vergleiche die oben angeführten Versuche von v. Gerstner).

Für Gußeisen bestätigte sich ferner in sehr auffallendem Grade die Beobachtung, die schon W. Weber und Wertheim gemacht hatten, daß eine Elasticitätsgrenze eigentlich nicht existirt, sondern daß auch kleine Belastungen, wenn sie lange genug wirken, eine dauernde Verlängerung, also eine dauernde Veränderung im Innern der Masse, erzeugen. Ein Stab z. B. von 15,24 Meter Länge nahm bei einer Belastung von 4,46 Kilogr. auf den Quadratmillimeter des Querschnittes noch eine bleibende Verlängerung von 0,6 Millim. an.

Weiter ergab sich, daß sowohl die bleibenden, als die elastischen Verlängerungen bei dem Gußeisen in weit stärkerem Verhältniß wachsen, als die Belastung.

Couche stellte außerdem in einem ungewöhnlich großen Maßstabe interessante Versuche an, welche beweisen, daß eine Gußeisenmasse, welche unter dem Einfluß einer Kraft eine dauernde Formänderung angenommen hat, durch gleich große oder durch kleinere Kräfte später nicht mehr verändert wird.

Die Versuche zur Vergleichung der verschiedenen Widerstände, welche das Gußeisen gegen eine zusammendrückende oder ausdehnende Kraft

---

*) Die Festigkeit eiserner Balken und Träger, nach dem Englischen des Thomas Tate von M. v. Weber. Nebst 3 Anhängen, die besten englischen Versuche zur Ermittelung der vortheilhaftesten Form von eisernen Trägern enthaltend, deutsch von Louis Galle. Dresden 1851.

**) Annales des mines (4). T. XX. p. 427.

äußert, wurden an Cylindern von 19 Millim. Durchmesser und von 19 Millim. und 38,1 Millim. Höhe angestellt. Im Mittel fand man den Widerstand gegen das Zerdrücken 5,7 mal größer, als den Widerstand gegen Zerreißen. Die Verhältnißzahl schwankte zwischen 4,75 und 7.

Die Versuche über die elastische und die bleibende Zusammendrückung unter verschiedener Belastung mußten an längeren Stäben angestellt werden. Man fand, daß die elastische, d. h. die nicht bleibende Verkürzung, in stärkerem Verhältniß zunimmt, als die Belastung. Die bleibenden Verkürzungen waren von gleicher Größe mit den bleibenden Verlängerungen, welche durch Zugkräfte hervorgebracht werden, und wuchsen proportional mit dem Quadrat der Belastung.

Daß mit der Gestaltveränderung der Körper, wenn sie einem Zug oder Druck unterworfen sind, auch eine Volumenänderung eintreten muß, so zwar, daß das Volumen eines Körpers durch Ausdehnung vergrößert und durch Compression verkleinert wird, ist schon wiederholt angedeutet und wohl ohne Weiteres verständlich. Cagniard Latour beobachtete diese Erscheinung direct dadurch, daß er einen Kupferdraht auszog, welcher auf passende Weise der Länge nach in einer mit Wasser gefüllten Röhre befestigt war. Die Erscheinung ist dabei im Allgemeinen die, daß bei der Ausdehnung, gleichviel ob sie eine elastische oder bleibende ist, der Durchmesser zwar kleiner wird, aber nicht in demselben Verhältniß, als die Länge zunimmt. Die Veränderung der Dichtigkeitsverhältnisse steht mit diesen Volumenänderungen in directer Beziehung.

Die ältere Theorie von Poisson, welche in den Versuchen von Cagniard Latour ihre Bestätigung zu finden schien, lautete dahin, daß, wenn man einen Stab oder eine Saite durch Zugkraft um Weniges verlängert, das Volumen so zunimmt, daß die Vermehrung der Volumeneinheit halb so viel beträgt als die Zunahme der Längeneinheit. Wenn, nach Poisson, a die Verlängerung ausdrückt, welche ein Cylinder, dessen Länge = 1 gesetzt wird, in seiner Axenrichtung durch Zug erleidet, so nimmt die Länge des Cylinders im Verhältniß $1 : 1 + a$ zu. Die Verkürzung in der, auf der Axe senkrechten Richtung beträgt aber $\frac{a}{4}$, so daß der Durchmesser nur im Verhältniß $1 : 1 - \frac{a}{4}$ kleiner wird. Ist also das ursprüngliche Volumen v, so wird das Volumen nach der Verlängerung $v\left(1 + \frac{a}{2}\right)$ betragen.

Diese Sätze haben bis vor Kurzem allgemeine Giltigkeit gefunden, bis Wertheim*) darauf aufmerksam machte, daß die von Cagniard Latour befolgte Methode, zur experimentalen Bestätigung des Poisson'schen Gesetzes, von zu geringer Empfindlichkeit und unzureichenden Resultaten sei. Wertheim stellte deshalb neue Versuche an mit Stäben von Kautschuk und mit cylindrischen Röhren von Messing und Glas, bei welchen die Volumenänderung an oben eingekitteten

*) Annales de chimie et physique (3). T. XXIII. p. 52. — Comptes rendues T. XXVI. p. 206. — Poggend. Ann. Bd. LXXIV. S. 150.

Capillarröhren, aber ebenfalls durch die verdrängte Flüssigkeit, gemessen ward. Wertheim fand auf diese Art, daß die Vergrößerung der Volumeneinheit nahe gleich $1/3$ der Zunahme der Längeneinheit sei, und nicht, wie früher bestimmt wurde, gleich der Hälfte der Verlängerung.

Aus der oben angeführten Grundgleichung

$$\pi = k \,.\, \varepsilon + K \,.\, v$$

— wobei π die wirkende Zug- oder Druckkraft, ε die lineare Verlängerung in der Richtung der Kraft, v die Volumenänderung und k und K die Coefficienten der linearen und cubischen Zusammendrückbarkeit oder Ausdehnbarkeit bedeuteten — leitete Cauchy für einen Cylinder, auf dessen convexe Fläche keine Kraft wirkt, während ein Druck oder Zug an den Grundflächen angebracht ist, die Gleichung ab

$$v = \frac{k}{k + 2\,K} \,.\, \varepsilon.$$

Nach Poisson's Hypothese war hierbei $v = \frac{1}{2}\,\varepsilon$ oder $k = 2\,K$. Nach Wertheims Versuchen wird aber $v = \frac{1}{3}\,\varepsilon$ und daraus ergiebt sich die Cauchy'sche Formel $k = K$ und $\pi = k\,(\varepsilon + v)$. Führt man diese Bedingung in die allgemeinen Gleichungen des Gleichgewichts und der Bewegung ein (siehe oben die Maxwell'schen Grundgleichungen), so gelangt man für spezielle Fälle zu anderen Formeln, als unter den früheren Voraussetzungen. Diese Wertheim'schen Correctionen erhalten dadurch genügende Bestätigung, daß sie, auf Regnault's Versuche über die cubische Zusammendrückung starrer Hüllen angewandt, den Beobachtungsresultaten weit näher stehen, als die Ergebnisse der älteren Formeln *).

Bei allen directen Messungen stellt sich das Bedürfniß heraus, einen allgemein gültigen Ausdruck, als vergleichende Maßeinheit zu erhalten. Um auch die Größe der Elasticität auf einen allgemeinen Ausdruck zu bringen, führte zuerst Thomas Young **) als Maßeinheit den Modulus der Elasticität ein, eine constante Größe, welche nach dem Vorgang der Engländer jetzt allgemein angenommen ist. Young stützte sich dabei einfach auf das Elasticitätsgesetz, daß die Verlängerung λ, welche ein elastischer stabförmiger Körper durch eine Zug- oder Druckkraft P erfährt, so lange, als die Theile des Körpers keine bleibende Veränderung ihrer Lage erleiden, der Zugkraft P und der ursprünglichen Länge l des Stabes direct, dem Querschnitt des Stabes aber verkehrt proportional ist. Je nach der Natur des Materials wird der Werth der Ausdehnung oder Zusammendrückung ein verschiedener sein. Für ein und dasselbe Material

*) Beiläufig sei bemerkt, daß aus Wertheim's Untersuchungen zugleich folgt, daß die Schallgeschwindigkeit in einer unbegrenzten Masse sich zu der in einem Faden von derselben Substanz verhält, wie $\sqrt{\frac{3}{2}} : 1$.

**) Lectures on Natural Philosophy. T. I. p. 137. T. II. p. 46.

aber ist der aus der angegebenen Proportion sich ergebende Werth $\frac{l}{\lambda} \cdot \frac{P}{a}$ eine Constante, welche wir $= \varepsilon$ setzen und den Modulus der Elasticität für das bestimmte Material nennen.

Es ist demnach für jedes Material besonders

$$\varepsilon = \frac{l}{\lambda} \cdot \frac{P}{a}, \text{ oder } P = \varepsilon \cdot \frac{a \cdot \lambda}{l}.$$

Setzen wir hierbei den Querschnitt des Stabes $a = 1$ und fragen, welche Kraft an dem Stabe ziehen müßte, um ihn auf seine doppelte Länge auszudehnen, um also $\lambda = l$ zu machen, so erhalten wir, vorausgesetzt, daß das Ausdehnungsgesetz auch hierfür noch Geltung hätte, die Kraft $P = \varepsilon$, d. h. gleich dem Elasticitätsmodulus.

Der Elasticitätsmodulus eines Materials ist folglich die Kraft, welche erforderlich wäre, um die ursprüngliche Länge eines homogenen Cylinders aus diesem Material, und von der Querschnittseinheit, durch Zug zu verdoppeln oder durch Druck auf die Hälfte zu reduciren, wenn das Gesetz der vollkommenen Elasticität bis zu dieser Grenze Geltung hätte.

Für $a = 1$ ergiebt sich das Verhältniß $\frac{l}{\lambda} = \frac{\varepsilon}{P}$, oder das allgemeine Gesetz: die Länge des elastischen Körpers verhält sich zur Längenänderung, wie der Elasticitätsmodulus zur wirkenden Kraft.

Die wirkende Kraft kann aber auf doppelte Weise ausgedrückt werden. Zunächst als Gewicht, welches die Ausdehnung oder Zusammendrückung bewirkt. Dieses zusammendrückende oder ausdehnende Gewicht kann man sich aber auch als einen cylindrischen Körper von derselben homogenen Masse, demselben Querschnitt und einer solchen Höhe vorstellen, daß dieser angefügte Cylinder dasselbe Gewicht besitzt als das spannende Gewicht P, welches die Längenänderung λ hervorruft. Dann werden gleiche Längen L, des angehängten drückenden oder ziehenden Cylinders auch gleiche Volumenveränderungen in dem elastischen Cylinder selbst hervorbringen, man wird also in diesem Falle die Querschnittsfläche gar nicht zu berücksichtigen haben und erhält die einfache Proportion

$$\lambda : l = L : \varepsilon_{,}, \text{ oder } \varepsilon_{,} = \frac{l}{\lambda} \cdot L.$$

Wenn L größer wird, wächst die Gewichtzunahme in demselben Verhältniß. Im gleichen Verhältniß wächst aber auch, innerhalb der Grenzen vollkommener Elasticität, der Werth von λ. Mithin bleibt $\frac{L}{\lambda}$ eine unveränderliche Größe bei jeder Aenderung von L, ebenso muß auch $\frac{l}{\lambda}$ eine unveränderliche Größe bei jeder Aenderung von l sein. Die Raumänderungen bei derselben Kraft verhalten sich also auch hier wie die Längen der elastischen Körper.

Diese Gesetze bleiben gültig, bis die Elasticität des Körpers ihre Grenze erreicht, d. h. bis L und λ ihren größten Werth annehmen, in welchem Falle nach

Fischer L die Größe der Elasticität und λ die Grenze der Elasticität genannt wird. Nach W. Weber nennt man die Verlängerung des Cylinders λ in Theilen seiner ganzen Länge ausgedrückt, seine Ausdehnung; die Länge L, welche der Cylinder haben müßte, damit sein Gewicht der Spannung gleich käme, die Spannungslänge; und den Coefficienten ε, richtiger Extensionsmodulus. Wäre das Gesetz, daß beide Größen, λ und L, immer in demselben Verhältniß stehen, auch für größere Ausdehnungen genau und bedürfte es keiner Correction, so wäre der Extensionsmodulus ε, auch genau die Länge, die ein Cylinder haben müßte, um durch sein eigenes Gewicht auf die doppelte Länge ausgedehnt zu werden, d. h. der Extensionsmodulus wäre genau gleich dem Elasticitätsmodulus, der nur eine ideale Größe ist.

Das Letztere geht schon daraus hervor, daß die Elasticitätsgrenze bei den meisten Körpern schon bei einer sehr geringen Verlängerung erreicht wird, so daß der Elasticitätsmodulus durchaus nicht durch eine directe Beobachtung ermittelt werden kann. Er muß vielmehr aus den innerhalb der Elasticitätsgrenze gemachten Versuchen, (wie die von s'Gravesande, Savart, Masson, v. Gerstner, Tredgold, Fairbaim u. A. angeführten Versuche) berechnet werden. Der vulkanisirte Kautschuk ist eine der wenigen Substanzen, bei welcher der Elasticitätsmodulus wirklich durch directes Ausziehen bis zur doppelten Länge ermittelt worden ist.

Den aus dem Gewicht abgeleiteten Elasticitätsmodulus ε nennt man das Gewicht des Modulus, den aus der Spannungslänge abgeleiteten $\varepsilon_{\prime}$ nennt man die Höhe des Modulus. Das Modulgewicht ε hängt bei gleicher Querschnittseinheit (von 1 Quadratcentimeter) mit der Modulhöhe $\varepsilon_{\prime}$ durch die Formel $\varepsilon = \varepsilon_{\prime} . s$ zusammen, in welcher s das specifische Gewicht des Körpers bedeutet, vorausgesetzt, daß $\varepsilon_{\prime}$ in Centimetern und ε in Grammen gemessen wird. Die Modulhöhe der Elasticität muß allezeit die nämliche sein, wie auch die Form des Körpers sein mag. Für die atmosphärische Luft z. B. wird die Höhe des Modulus etwas über eine geographische Meile. Denn wenn man das Verhältniß des Wassers zur Luft = 779,44 : 1 und das des Quecksilbers zu Wasser = 13,6 : 1, die Barometerhöhe aber zu 2,3 Fuß annimmt, so würde eine gleichmäßig dichte Luftsäule von 779,44 . 13,6 . 2,3 = 24381 Fuß diejenige Spannung in der Luft hervorbringen, welche ihr jetzt eigen ist, jede Vermehrung oder Verminderung aber eine, dieser proportionale Zusammendrückung oder Ausdehnung zur Folge haben. Das Gewicht des Modulus der Elasticität eines Körpers muß aber deshalb fast immer über die Grenze seiner Cohäsion hinausgehen, weil das Gewicht den Körper immer seiner Größe proportional ausdehnt, folglich die Ausdehnung nicht nach läßt, bis der Körper zerrissen ist.

Wir theilen im Folgenden 3 Tabellen mit, welche die absoluten Werthe des Elasticitätsmodulus nach verschiedenen Maßeinheiten angeben. Die erste Tabelle giebt die Modulgewichte in Kilogrammen für den Querschnitt von einem Quadratcentimeter, die Modulhöhe in Metern nach Tredgold *), Kayser**),

*) Tredgold, practical Essay on the strength of cast Iron. London 1824. — Aus dem Englischen übersetzt. Leipzig 1826.

**) Handbuch der Statik von Kayser. Carlsruhe 1836.

Redtenbacher *) u. A. an. Die zweite Tabelle giebt das Modulgewicht in preußischen Pfunden für 1 Quadratzoll preußisch Querschnitt und außerdem die Ausdehnung bei der Elasticitätsgrenze in Bruchtheilen der ganzen Länge, nach Müller **) und Weißbach ***) an. Die dritte Tabelle endlich giebt die Werthe nach Tredgold ****) und Muncke *****) im englischen avoir-du-poids Gewicht und englischen Fußen und Quadratzollen an.

Tabelle I.

(In französischem Maß und Gewicht).

Material.	Modul-Gewicht ε in Kilogr. pr. 1 □ Ctm.	Modul-Höhe ε, in Metern	Quellen-Angabe
1. Steine.			
Marmor	178244	655305	Tredgold
Bildhauermarmor, weißer . .	190000	—	"
Portland-Kalkstein	65000	—	"
Weißer Quarzsandstein . . .	36000	—	"
2. Holzarten.			
Eichenholz	168676	1441645	"
"	120000	—	Redtenbacher
"	102000	—	Barlow †)
"	101200	—	Duhamel
"	168800	—	Dupin
"	130000	—	Rondelet ††)
"	90000	—	v. Gerstner †††)
"	62100	—	Ebbels u. Tredgold
" (directe Dehnungsversuche)	134000	—	Minard u. Desormes
Fichtenholz	185720	2651714	Tredgold
"	129300	—	Barlow
"	145900	—	v. Gerstner
"	181600	—	"
Tannenholz	100000	—	Redtenbacher
"	102900	—	Dupin
"	130000	—	Rondelet
"	93400	—	Barlow
" schottisches	61100	—	"
"	208200	—	v. Gerstner
" russisches	139500	—	Ebbels u. Tredgold
Eschenholz	112000	—	Redtenbacher
"	115600	—	Barlow

*) Redtenbacher, Resultate für den Maschinenbau. Mannheim 1853. 2. Aufl.
**) Pouillet-Müller's Lehrbuch der Physik. 4. Aufl. 1. Band. Braunschweig.
***) Weißbach, der Ingenieur. 2. Aufl. Braunschweig.
****) Philosophical-Transactions. 1824. T. II.
*****) Gehler's Phys. Wörterb. 2. Aufl. Bd. III. S. 224.
†) Barlow, An Essay on the strength and stress of timber.
††) Rondelet, Art de bâtir.
†††) v. Gerstner, Handbuch der Mechanik.

Material	Modul-Gewicht ε in Kilogr. pr. 1 □ Ctm.	Modul-Höhe ε, in Metern	Quellen-Angabe
Buchenholz	93000	—	Redtenbacher
„	133200	—	Dupin
„	95200	—	Barlow
„	99900	—	v. Gerstner
„	121200	—	„
Ulmenholz	49200	—	Barlow
Lärchenholz	74000	—	Barlow
„	88600	—	Ebbels u. Tredgold
„	106600	—	„ „
3. Schmiedeeisen.			
Englisches	1805081	2301199	Tredgold
Dünnes Schmiedeeisen	2500000	—	Redtenbacher
In dickeren Stäben	1500000	—	„
Schmiedeeisen, englisches	2000000	—	Duleau *)
„ schwedisches	2347000	—	Tredgold
„ (directe Dehnungsvers.)	1935700	—	Brunel
Gittereisen	1730200	—	v. Gerstner
Radreifeneisen	1655000	—	„
Gewalztes Eisen	1945600	—	„
Eisendraht	1800000	—	Redtenbacher
Gemeiner Draht	1328900	—	v. Gerstner
„ „	1773300	—	„
Clavierdraht (dir. Dehnungsvers.)	1302300	—	„
„ „ „	2030300	—	„
Ausgeglühter Draht	2867900	—	„
4. Gußeisen.			
Englisches	1374715	1752569	Tredgold
„	1153000	—	„
Weißgraues	902900	—	Rondelet
Dunkelgraues	1065300	—	„
Deutsches	846300	—	v. Gerstner
„	976200	—	„
Französisches	1000000	—	Redtenbacher
5. Stahl.			
Englischer	2026578	2599844	Tredgold
Gußstahl	2400000	—	Redtenbacher
Stahl, mittlere Qualität	3000000	—	„
„ ordinäre Qualität	2000000	—	„
„ von der Feilhärte	2124600	—	Tredgold
Weicher	2198000	—	„
Gußstahl, englischer	2700600	—	Duleau
Cementstahl, deutscher	1042300	—	„
„ „	3247600	—	„
Stählerne Uhrfedern	1310000	—	v. Gerstner
„ (dir. Dehnungsversuche)	1708600	—	„
Stahldraht	1930300	—	Forbes **)
Gehärteter und unter Rothglühhitze wieder angelaufener Guß- und Cementstahl	2000000	—	Philipps ***)

*) Duleau, essai théorique et expérimentale sur la résistance du fer forgé.
**) Phil. Mag. T. XXXV. p. 98.
***) Compt. rend. T. XXXII. p. 539.

Material	Modul-Gewicht ε in Kilogr. pr. 1 □ Ctm.	Modul-Höhe ε, in Metern	Quellen-Angabe
6. Metalle u. Compositionen.			
Kupfer, gehämmert	1310000	—	Redtenbacher
Zinn, englisches	322628	442865	Tredgold
" "	320000	—	Redtenbacher
Zink	936992	1365480	Tredgold
Blei	50908	44500	"
"	54000	—	Redtenbacher
Messing	614832	749755	Tredgold
"	645000	—	Redtenbacher
Glockengut	697309	850377	Tredgold
Kanonenmetall	700000	—	Redtenbacher
7. Glassorten.			
Glas	9000	—	"
Fensterglas (angelassen)	7917	—	Chevaudier u. Wertheim *)
Spiegelglas	7015	—	Chevaudier u. Wertheim
Farbloses Gefäßglas	6890	—	" "
Krystallglas	5477	—	" "
8. Leder.			
Kalbleder	391	—	Redtenbacher
Gegerbtes Schafleder	381	—	"
Weißes Roßleder	748	—	"
Dünnes Roßleder	476	—	"
Corduan Roßleder	252	—	"
Kuhleder	683	—	"

Tabelle II.

Nach Weißbach u. Müller-Pouillet. (In preußischem Maß u. Gewicht.)

Material	Ausdehnung bei der Elasticitätsgrenze	Elasticitätsmodulus in Pfunden auf 1 □ Zoll	Tragmodulus
Buchen-, Eichen- und Tannenholz	$1/600$	1800000	3000
Eisen in Drähten	$1/1250$	26000000	21000
Eisen in Stäben	$1/1520$	29000000	20000
Gußeisen	$1/1200$	17000000	14000
Stahl	$1/835$	30000000	36000
Gehärteter Gußstahl	$1/4500$	44000000	96000
Messingdraht	$1/742$	145000000	20000
Messing	$1/1320$	95000000	7000
Glockenmetall	$1/1590$	47000000	30000
Blei	$1/477$	700000	1500
Bleidraht	$1/1500$	1000000	700
Marmor	—	2600000	—
Vulkanisirter Kautschuk	—	144	—

*) Ann. de chim. et phys. T. XIX. p. 129 u. 252.

Tabelle III.

Nach Tredgold. (In englischem Maß und Gewicht.)

Material.	Gewicht, welches 1 □ Zoll engl. trägt, ohne Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze	Ausdehnung bei der Elasticitätsgrenze in in engl. Fußen	Modul-Gewicht in engl. Pfunden pr. 1 □ Zoll englisch	Modul-Höhe in engl. Fußen
Stahl	45000	1/645	29000000	8530000
„	51000	1/565	29983410	8818650
Schmiedeeisen . . .	17800	1/1400	24920000	7550000
Gußeisen	15300	1/1204	18400000	5750000
Messing	6700	1/1333	8930000	2460000
Glockenmetall . . .	10000	1/960	9873000	2790000
Zinn	2880	1/1600	4608000	1453000
Blei	1500	1/480	720000	146000
Zink	5700	1/4200	13680000	4480000
Esche	3540	1/464	1640000	4970000
Buche	2360	1/570	1345000	4600000
Ulme	3240	1/414	1340000	4680000
Rothtanne	4290	1/470	2016000	8330000
Weißtanne	3630	1/504	1830000	8970000
Lärchenbaum	2065	1/520	1074000	4415000
Mahagoni	3800	1/420	1596000	6570000
Eiche	3960	1/430	1700000	4730000
Fichte	3900	1/414	1600000	8700000
Weißer Marmor . . .	1811	1/1394	2520000	2150000
Schiefer von Wallis . .	11500	1/1370	15800000	13240000
Schiefer aus Westmoreland	7870	1/1640	12900000	—
Schiefer aus Schottland	9600	1/1645	15790000	—
Portland-Stein . . .	857	1/1789	1533000	1672000
Fischbein	5600	1/146	820000	1458000

Die von Tredgold in Tabelle III. angeführten Untersuchungen sind die ältesten; die in Tabelle I. von Forbes, Philipps, Chevaudier und Wertheim die neuesten, sorgfältig bestimmten Resultate. Namentlich hat Wertheim eine große Anzahl von Versuchen gemacht, auf die wir hier nur verweisen können. Seinen Untersuchungen über Cohäsion und Elasticität der Metalle und Legirungen *) folgten zunächst Versuche über verschiedene Glassorten **) die er mit Chevaudier zusammen unternahm, und von denen wir einige Resultate mitgetheilt haben. Die Elasticität wurde durch die Schallgeschwindigkeit bestimmt, wobei sich ergab, daß die Bestimmung durch Ausdehnung kleinere Werthe giebt, als die Messung durch Schwingungszahlen. Auch die

*) Ann. de Chim. et Phys. (3) T. XII. p. 385. 581. — Compt. rend. T. XV. p. 110. — Poggend. Ann. Bd. LVII. S. 382. — Erg. Bd. II. 1. 73.

**) Ann. de Chim. et Phys. (3). T. XIX. p. 129. 252. — Compt. rend. T. XX. p. 1637. — Poggend. Ann. Erg. Bd. II. S. 115.

mechanischen Eigenschaften der Holzarten wurden von Chevandier und Wertheim *) wiederholt untersucht, wobei sich abermals bestätigte, daß die aus den Schwingungen abgeleiten Elasticitätswerthe höher ausfallen als die aus den Verlängerungen. Endlich untersuchte Wertheim noch die Elasticität und Cohäsion der Knochen, Muskeln, Sehnen, Nerven, Arterien und Venen des menschlichen Körpers **), doch haben diese Resultate nur physiologisches Interesse.

Forbes ***) wendete den Apparat von s'Gravesande an, um den Elasticitätsmodul des Stahls zu messen. Der horizontal gespannte Stahldraht werde durch ein Gewicht T gespannt, s bedeute seine Länge und D die Senkung, welche durch ein in der Mitte angehängtes Gewicht P bewirkt wird. Forbes berechnete daraus den Elasticitätsmodulus M nach der Näherungsformel

$$P = 2T \cdot \frac{D}{s} + M \left(\frac{D}{s}\right)^3$$

und fand M = 19303 Klgr. für 1 Quadratmillimeter Querschnitt.

Von Philipps endlich wurden Versuche über die Elasticität des gehärteten und unter der Rothglühhitze wieder angelaufenen Gußstahles angestellt ****). Ausdehnungen bis zu 0,004 der Gesammtlänge erzeugten, selbst bei 14tägiger Einwirkung, keine bleibenden Verlängerungen. Für Cementstahl lag diese Grenze zwischen 0,003 bis 0,004, bei geschweißtem Cementstahl noch tiefer. Der Elasticitätsmodulus lag aber nie weit von 20000 Kilogrammen auf den Quadratmillimeter.

Daß der Elasticitätsmodulus an sich zwar eine allgemeine Maßeinheit ist, aber keinen Maßstab giebt für die Größe der absoluten und permanenten Elasticität, geht theils aus der Entwickelung dieses Begriffes, theils aus einer Uebersicht der mitgetheilten Tabellen hervor. Der Elasticitätsmodulus von Leder und Kautschuk ist z. B. der niedrigste, weil Beide sehr dehnbar sind. Dennoch ist der Kautschuk beinahe vollkommen und permanent elastisch zu nennen. Der einfache Elasticitätsmodulus kann uns also keine tiefere Einsicht in das Wesen der Elasticität gestatten.

Ganz anders gestaltet sich die Reihenfolge der untersuchten Stoffe, wenn wir nach der Wirkungsgröße fragen, welche zur Ausdehnung oder Zusammenpressung eines stabförmigen Körpers nothwendig ist. Diese von Redtenbacher *****) angewendete Betrachtungsweise müssen wir schließlich noch verfolgen, um dadurch einen neuen Gesichtspunkt für das Wesen der Elasticität zu gewinnen. Es sei AB (siehe umstehende Figur) die ursprüngliche Länge eines elastischen Stabes. Wird derselbe von B bis C ausgedehnt, so wächst die Ausdehnung proportional mit der Kraft. Nach dem Früheren ist AB = l, BC = λ und der Querschnitt des Stabes = a zu setzen. Trägt man nun die der Ausdehnung in jedem Zeitmoment entsprechende Kraft als Ordinate auf, macht also

*) Compt. rend. T. XXIII. p. 663. — Poggend. Ann. Ergänz. Bd. II. S. 481.

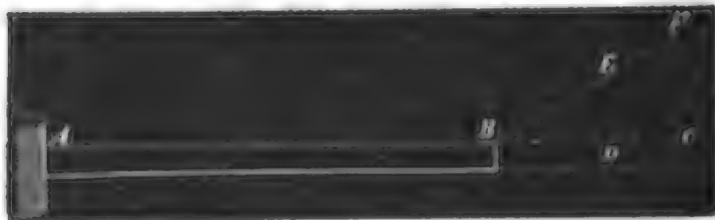
**) Ann. de Chim et Phys. (3). T. XXI. p. 385.

***) Phil. Mag. (3). T. XXXV. p. 92.

****) Compt. rend. T. XXXII. p. 539. — L'Institut. 1851. p. 147.

*****) Redtenbacher, Principien der Mechanik und des Maschinenbaues. Mannheim 1852.

z. B. für $BD = \lambda_1$, $ED = P = \frac{a\,\lambda_1}{l}$, so bilden die Endpunkte sämmtlicher Ordinaten eine gerade Linie BEF. Der Flächeninhalt des Dreieckes BFC bestimmt dann die Wirkungsgröße, welche der Ausdehnung $BC = \lambda$ entspricht. Setzt man nun die der größten Ausdehnung entsprechende Kraft $CF = K$, so ist die Wirkung



$W = \frac{1}{2}\lambda . K$, oder, da K nach dem Früheren (S. 707) $= \varepsilon . \frac{a\,.\,\lambda}{l}$ ist, erhält man

$$W = \frac{1}{2}\,\varepsilon\,\frac{a\,\lambda^2}{l}$$

oder auch, wenn man λ statt K eliminirt

$$W = \frac{1}{2}\,.\,\frac{\left(\frac{K}{a}\right)^2}{\varepsilon}\,.\,l\,.\,a.$$

Es ist aber $l\,.\,a$ das ursprüngliche Volumen des Stabes, $= V$, und der Quotient $\left(\frac{K}{a}\right)$ ist die Kraft, mit welcher jede Quadrateinheit des Querschnittes gespannt wird. Setzen wir diese, auf die Quadrateinheit bezogene, Kraft $= p$, so erhalten wir

$$W = \frac{1}{2}\,.\,\frac{p^2}{\varepsilon}\,.\,V.$$

Daraus folgt, daß die Wirkungsgröße, welche erforderlich ist, um einen Stab so weit auszudehnen, daß die Spannung in der Flächeneinheit des Querschnittes $= p$ wird, dem Quadrat dieser Spannung und dem Volumen des Stabes direct, dem Elasticitätsmodulus des Materials aber verkehrt proportional ist.

Wird ein Stab so stark ausgedehnt, daß er abreißt, so ist p für den Augenblick des Abreißens der absoluten Festigkeit des Materials gleich. Wenn man sich also erlaubt, das durch die Grundgleichung der Elasticität ausgesprochene Ausdehnungsgesetz bis zu dem Moment des Reißens gelten zu lassen, so giebt die letzte Gleichung für W, wenn man in dieselbe für p die absolute Festigkeit des Materials substituirt, die Wirkungsgröße, welche erforderlich ist, um einen Stab bis zum Zerreißen auszudehnen. Diese Wirkung ist also ebenfalls dem Quadrat der absoluten Festigkeit und dem Volumen des Stabes direct, dem Elasticitätsmodulus aber verkehrt proportional. Zwei aus gleichem Material bestehende Stäbe, erfordern demnach zum Abreißen einerlei Wirkung, wenn ihre Volumina gleich groß sind.

Je kleiner der Elasticitätsmodulus im Verhältniß zum Coefficienten der absoluten Festigkeit ist, desto größer wird der Quotient $\frac{p^2}{\varepsilon}$, der also für solche

Stoffe am größten ist, welche eine große Festigkeit besitzen und gleichzeitig sehr dehnbar sind. Beurtheilen wir die Materialien nach diesem Quotienten, so erhalten wir eine ganz andere Reihenfolge. Dieser Quotient ist nach Redtenbacher, wenn man alle Dimensionen in Centimetern und die Kraft in Kilogrammen, mithin die Wirkung in Kilogramm-Centimetern ausdrückt, für

Blei . . $\frac{p^2}{\varepsilon}$ = ...	0,03
Gußeisen	1,7
Messing	2,6
Eichenholz	4,3
Kupfer	5,0
Ordinärer Stahl	6,0
Buchenholz	6,9
Glas	7,0
Tannenholz	7,2
Schmiedeeisen	7,4
Kanonenmetall	10,0
Eschenholz	13
Stahl, mittlere Qualität . .	18
Eisendraht	27
Gegerbtes Schafleder . . .	32
Gußstahl	40
Kalbleder	43
Corduan Roßleder	51
Weißes Roßleder	99
Dünnes Roßleder	100
Kuhleder	108

Hieraus sieht man, daß die Stoffe hinsichtlich der Wirkungen, die erforderlich sind, um sie bis zum Zerreißen auszudehnen, sich ganz anders verhalten, als wenn man sie nach ihrer absoluten Festigkeit oder nach dem Elasticitätsmodulus allein beurtheilt. Blei und Gußeisen leisten nach dieser Tabelle am Wenigsten, Kanonenmetall leistet mehr, als Schmiedeeisen, am meisten das Leder, nämlich $2^1/_2$ mal so viel als Stahl.

Die Biegung u. Drehung eines festen Körpers bieten nun noch zwei andere Mittel zur Bestimmung des Elasticitätsmodulus dar. Wird nämlich ein Körper (wir wollen annehmen, es sei ein prismatischer) an einem Ende horizontal befestigt und am anderen durch ein Gewicht P beschwert, so erkennt man leicht, daß derselbe bei hinreichender Größe von P sich biegen muß, und zwar so, daß die Theilchen an seiner oberen Fläche gedehnt, also von einander entfernt, dagegen die an der unteren Fläche ineinander gedrückt werden. Zwischen beiden Flächen giebt es aber eine bestimmte mittlere Schicht, deren Theilchen hierbei keine Spannung erleiden, und die in unserem Falle durch den Schwerpunkt des Querschnittes vom ganzen Körper geht. Man nennt sie die neutrale Axe des Körpers, deren Gestalt nach der Biegung des letzteren durch die Curve n c in umstehender Figur bezeichnet sein soll. Nennt man nun die Länge des Körpers l, die Breite seines Querschnittes b, dessen Höhe h, und die Entfernung c m des Endpunktes der neutralen Axe von seiner anfäng-

lichen Lage a, so hat man unter Voraussetzung einer kleinen Biegung zur Bestimmung des Elasticitätsmodulus die Formel $\varepsilon = \frac{P\,l^3}{a\,b\,h^3}$. Einige ergänzende Betrachtungen, namentlich was die Herleitung dieser Formel betrifft, werden im Artikel Festigkeit ihre passende Stelle finden.

Wenn ein Körper, der an einem Ende befestigt ist, am anderen von einer Kraft ergriffen wird, deren Richtung in einer auf der Axe des Körpers senkrechten Ebene liegt, so erfolgt eine Drehung, indem die in gerader Linie liegenden Theilchen sich von einander entfernen und eine Art Schraubenlinie bilden, wobei aber zugleich ein Druck nach innen stattfindet. Der Winkel nun, um welchen die Theilchen gedreht werden, ist desto größer, je weiter sie vom festen Ende abstehen. Coulomb *) stellte hierüber zuerst genauere Versuche mit Metalldrähten an, welche er vertical befestigte und unten durch ein cylindrisches Gewicht beschwerte, dessen Axe mit der des Drahtes zusammenfiel. Auch war dasselbe mit einem Zeiger versehen, welcher über einem getheilten Kreise sich bewegen konnte. Wird dieses Gewicht um seine Axe gedreht, so erleidet der Draht eine Windung; sobald man aber das Gewicht wieder losläßt, entsteht durch das Bestreben der Theilchen in die ursprüngliche Lage zurückzukehren, eine Reihe von Schwingungen, deren Weite bis zum Moment des Gleichgewichts immer kleiner wird. Die Kraft, womit die Theilchen in die Gleichgewichtslage zurückstreben, fand Coulomb der Größe der Drehung (Torsion) proportional, und diese steht am Ende eines cylindrischen Körpers und innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität, nach den Versuchen von Coulomb und Savart, im directen Verhältnisse sowohl mit der Länge des Cylinders als auch mit dem Momente der drehenden Kraft, dagegen im umgekehrten mit der vierten Potenz des Halbmessers. Dasselbe ergiebt sich auch auf dem Wege der Rechnung. Bezeichnet man die drehende Kraft durch P und ihren Hebelsarm durch a, so ist das Drehungsmoment $= P\,a$. Ist nun noch l die Länge und r der Halbmesser des Körpers, so hat man den Drehungs- oder Torsionswinkel $\delta = \frac{4\,l\,P\,a}{\pi\,r^4\,\varepsilon}$ und hieraus den Elasticitätsmodulus $\varepsilon = \frac{4\,l\,P\,a}{\pi\,r^4\,\delta}$.



Ueberschreitet die Drehung die Grenze der Elasticität, so kehren die Theilchen auch hier nach Wegfall der äußeren Einwirkung, nicht wieder in ihre anfängliche Lage zurück, und bei fortdauernder Steigerung der Kraft verlieren sie ihren Zusammenhang, so daß ein sogenanntes Abdrehen stattfindet, was bei Maschinentheilen, die eine Drehung um ihre Axe erleiden, mitunter vorkommt. Man vergl. darüber den Art. Festigkeit.

Auf den Gesetzen der Torsions-Elasticität beruht auch die Drehwage (siehe diesen Artikel).

---

*) Mém. de l'Acad. 1784.

Was die Elasticität tropfbarer Flüssigkeiten anlangt, so ist dieselbe hinreichend festgestellt sowohl durch die Thatsache, daß alle diese Körper die Schallwellen mehr oder minder gut fortzupflanzen vermögen, als auch durch directe Versuche über die Zusammendrückbarkeit solcher Flüssigkeiten. Sie alle lassen sich nicht allein comprimiren, sondern kehren auch nach Aufhebung des äußeren Druckes zu ihrem anfänglichen Volumen zurück, so daß sie jedenfalls innerhalb gewisser Grenzen vollkommen elastisch sind. Die Untersuchungen über die Elasticität tropfbarer Körper fallen fast ganz zusammen mit denen über ihre Compressibilität, weshalb wir hier auf den Artikel Zusammendrückbarkeit verweisen.

Rich. Pohl.

Elaterometer oder Elasticitätsmesser nennt man mehrere Vorrichtungen zur Bestimmung des Druckes oder der Spannung eingeschlossener Gase und Dämpfe. Vergl. d. Art. Dampfmaschine (S. 343), Luftpumpe und Manometer.

Elektricität. Alle Körper können unter gewissen Umständen in einen eigenthümlichen Zustand gerathen, worin sie die Fähigkeit besitzen, leicht bewegliche Körper anzuziehen und nach erfolgter Berührung wieder abzustoßen. Dies gewahrt man z. B., wenn man eine Stange von Glas, Schwefel oder Siegellack mit Wollen- oder Seidenzeug reibt und dann dieselbe in die Nähe von leichten Körpern, wie Papierschnitzel, Goldflitter, Sägespähne, Kügelchen von Hollundermark und dergleichen bringt. Man beobachtete solche Erscheinungen zuerst am Bernstein (ἤλεκτρον) und nannte sie deshalb elektrische Erscheinungen, die Ursache derselben aber Elektricität. Doch versteht man unter diesem Worte auch die Gesammtheit oder den Inbegriff aller elektrischen Erscheinungen, und mitunter wohl auch den elektrischen Zustand selbst.

Wenn man also ein Hollundermarkkügelchen oder Goldblättchen, das an einem Seidenfaden aufgehängt ist, einer geriebenen Glasröhre nahe bringt, so wird es zuerst angezogen und dann, sobald eine Berührung stattgefunden, abgestoßen. Diese Abstoßung findet so lange statt, als die Glasröhre sich im elektrischen Zustande befindet; vorausgesetzt dabei, daß das Kügelchen oder Goldblättchen nicht mit anderen Körpern, z. B. mit dem Finger eines Menschen, in Berührung gekommen ist; denn in diesem Falle geschieht, wenn man es der Glasröhre nahe bringt, wieder eine Anziehung und darauf abermals eine Abstoßung. Der elektrische Zustand kann nun von einem Körper auf den andern übergehen. Ein Metalldraht, der an einem Seidenfaden aufgehängt ist, zeigt, mit einem geriebenen Glasstabe in Berührung gebracht, in allen Punkten seiner Oberfläche den elektrischen Zustand, welcher ihm vom Glase an der berührten Stelle mitgetheilt wurde. Die Metalle überhaupt haben die Eigenschaft, daß sie den elektrischen Zustand leicht annehmen und längs ihrer ganzen Oberfläche fortpflanzen. Dagegen wird eine Harz- oder Glasstange durch Berührung mit einem elektrischen Körper nicht allenthalben, sondern höchstens nur an der Berührungsstelle selbst schwach elektrisch. Wenn man aber ein durch Mittheilung elektrisch gemachtes Metall an irgend einer Stelle mit der Hand berührt, so verliert es seinen elektrischen Zustand in der Regel an allen Stellen, während ein durch Reiben überall elektrisirter Glasstab nur an der berührten Stelle einen solchen Verlust erleidet. Hierauf gestützt nennt man die Metalle und alle Körper, welche sich gegen die Elektricität auf ähnliche Weise wie jene verhalten, gute Leiter, trocknes Glas, Harz, Schwefel, Seide und

alle ihnen in dieser Beziehung ähnlichen Körper schlechte Leiter der Elektricität. Zwischen beiden stehen die sogenannten Halbleiter, zu denen man Alabaster, Marmor, die meisten Erden und Steine rechnet. Zu den guten Leitern der Elektricität gehören außer den Metallen namentlich noch gebrannte Kohle, Erze, der menschliche Körper und lebende Vegetabilien, die feuchte Erde, Wasser und Wasserdunst, nebst vielen anderen Flüssigkeiten. Alle diese Körper unterscheiden sich aber bezüglich des Grades der Leitfähigkeit wieder bedeutend von einander *). Selbst Körper, welche sonst den elektrischen Zustand schlecht fortpflanzen, können gute Leiter werden, wenn sich auf ihrer Oberfläche Wasserdampf niederschlägt. Soll nun ein Leiter den ihm mitgetheilten elektrischen Zustand auf längere Zeit behalten, so muß er isolirt oder, was dasselbe ist, mit schlechtern Leitern (Isolatoren) umgeben oder verbunden werden. Auch die besten Leiter, wie Metalle, können durch Reiben elektrisch gemacht werden, wenn man sie isolirt, was z. B. dadurch geschehen kann, daß man sie an einer Handhabe von überfirnißtem Glas befestigt. Diese verhindert, daß der mitgetheilte elektrische Zustand auf einen besseren Leiter übergeht. Wenn man ein so isolirtes Metall, das entweder die Form einer Platte oder eines Stabes hat, an irgend einer Stelle mit einem anderen Körper reibt, so wird es an allen Punkten seiner Oberfläche elektrisch, ein schlechter Leiter oder ein sogenannter Halbleiter der Elektricität dagegen nur an der geriebenen Stelle selbst.

Die elektrische Abstoßung nach stattgehabter Berührung ist immer die Folge einer Mittheilung des elektrischen Zustandes. Das an einem Seidenfaden hängende Hollundermarkkügelchen wird, während es den durch Reiben elektrisirten Körper berührt, selbst elektrisch und deshalb zurückgestoßen, bis es durch Berührung mit einem anderen Leiter wieder in den gewöhnlichen Zustand versetzt ist. Die Erscheinung bleibt aus, wenn man ein Schellackkügelchen nimmt, weil dieses als schlechter Leiter der Elektricität den elektrischen Zustand des geriebenen Körpers nur sehr schwer annimmt. Dagegen behält es aber auch die Elektricität, welche es einmal empfangen, länger bei.

Die Elektricität kann nicht allein bei unmittelbarer Berührung, sondern auch schon auf einige Entfernung hin von einem Körper zu einem anderen übergehen. Nähert man z. B. eine geriebene Glas- oder Siegellackstange einem Metallstabe oder dem Knöchel eines Fingers, so sieht man im Finstern einen glänzenden Funken überspringen, der zugleich ein knisterndes Geräusch verbreitet. Die Elektricität geht erfahrungsmäßig um so leichter von einem Körper auf einen anderen über, je besser sie der letztere leitet und je größer dessen Oberfläche ist. Soll daher ein isolirter Leiter die ihm anhaftende Elektricität möglichst vollständig verlieren, so muß man ihn mit einem anderen Leiter von sehr bedeutender Oberfläche in Berührung bringen. Dies geschieht, wenn man ihn mit dem Erdboden, also gewissermaßen mit der ganzen Erdoberfläche entweder unmittelbar oder vermittelst eines Metalldrahtes in leitende Verbindung setzt.

Wenn man zwei Hollundermarkkügelchen oder zwei Goldblättchen, von denen jedes an einem Seidenfaden hängt, mit einem an Seide geriebenen Glasstabe in

---

*) Man vergl. d. Art. Leiter der Elektricität.

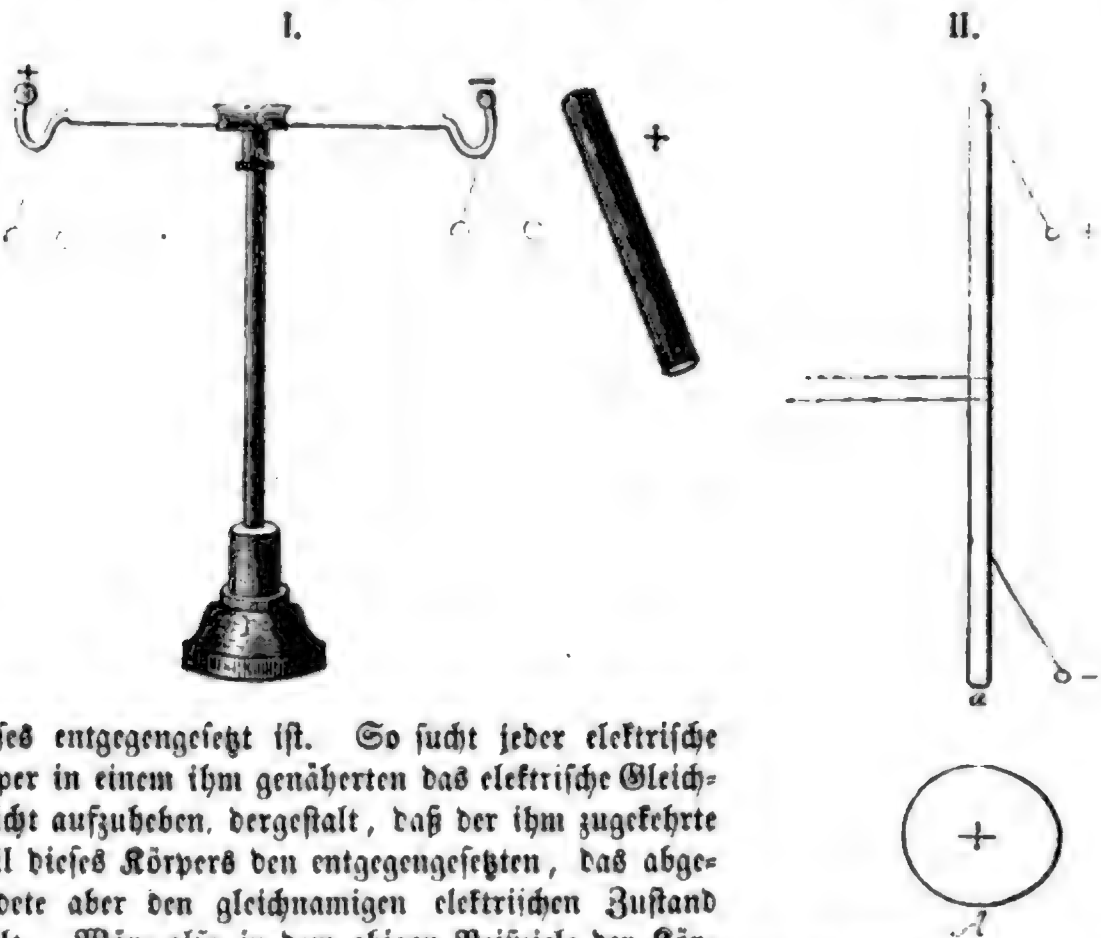
Berührung bringt, so stoßen sie sich ab, wenn sie einander bis auf eine gewisse Entfernung genähert werden. Dasselbe beobachtet man, wenn man beide durch eine mit Pelz oder Wolle geriebene Siegellackstange oder durch eine geriebene, isolirte Metallplatte elektrisirt. Ist aber das eine Kügelchen oder Blättchen durch Glas, das andere durch Siegellack elektrisirt, so wird das erstere vom Siegellack, das letztere vom Glase angezogen. Sie selbst, die Kügelchen oder Blättchen, ziehen sich dann auch unter einander an. Nach erfolgter Berührung sind aber beide unelektrisch, in sofern der elektrische Zustand vorher in beiden mit gleicher Intensität hervortrat. Auf diese Weise überzeugt man sich, daß der elektrische Zustand des geriebenen Glases von anderer Art ist als derjenige des geriebenen Harzes, und daß sich beide Zustände unter Umständen wie entgegengesetzte Größen ganz aufheben. Gleichartige elektrische Zustände bewirken Abstoßung, ungleichartige hingegen Anziehung zwischen den mit ihnen behafteten Körpern. Auch alle übrigen Körper zeigen, wenn sie mit einem anderen Körper gerieben worden sind, entweder den elektrischen Zustand des Glases oder den des Harzes. Von diesen entgegengesetzten elektrischen Zuständen nennt man den einen den positiven, den andern den negativen, und bezeichnet den ersteren durch +, den letzteren durch —. Zwei Körper also, welche entgegengesetzte elektrische Zustände haben, nähern sich, unter Voraussetzung freier Beweglichkeit, einander gegenseitig. Im Moment der Berührung verschwinden diese Zustände aber vollständig, wenn sie in beiden Körpern, die gleichen Umfang haben müssen, eine gleich große Intensität zeigten. Ist die letztere bedeutend, so kann die Ausgleichung der ungleichartigen Zustände schon vor der Berührung stattfinden, indem ein Funken überschlägt, bei dessen Erscheinung die Körper in ihren gewöhnlichen Zustand zurückkehren.

Um zu erfahren, ob ein Körper elektrisch ist, kann man in gewöhnlichen Fällen ein kleines, an einem Seidenfaden hängendes, Hollundermarkkügelchen (s. d. Fig.) anwenden. Der zu prüfende Körper ist elektrisch, sobald er das angenäherte Kügelchen anzieht, im Gegentheil entweder gar nicht oder doch nur schwach.



Zu demselben Behufe gebraucht man die sogenannte elektrische Nadel, die aus einem Messingdraht besteht, welcher in zwei metallischen Hohlkugeln endigt und der in seiner Mitte vermittelst eines Stahl= oder Achathütchens auf einer feinen Spitze ruht. Schon eine geringe elektrische Kraft bringt diese Nadel in Bewegung. Häufiger wendet man zwei Kork= oder Hollundermarkkügelchen an, welche durch einen Leinen= oder Metallfaden mit einander verbunden sind und zwei Pendel darstellen, welche im gewöhnlichen Zustande an einander herabhängen. Wird ihnen aber ein bestimmter elektrischer Zustand mitgetheilt, so fahren sie auseinander, da gleichartige elektrische Zustände Abstoßung zur Folge haben. Statt dieser Pendel benutzt man noch besser zwei Strohhalme oder zwei schmale Blättchen Rauschgold, die an einem isolirten Metallstabe befestigt und durch diesen mit einer Metallkugel oder Platte verbunden sind. Will man wissen, welcher Art der einem Körper anhaftende elektrische Zustand ist, so muß man den Pendeln im Voraus eine bestimmte Elektricität, z. B. durch Berührung mit einem geriebenen Glas= oder Harzstabe, mitgetheilt haben. Wird ihnen dann ein gleichartig elektrischer Körper genähert, so wird ihre Divergenz vergrößert, im Gegentheil aber vermindert oder ganz aufgehoben. Das Nähere über diese Apparate und deren Gebrauch in den Artikeln Elektrometer und Elektroskop.

Ein Metallstab, welcher die in der nachstehenden Fig. I. bezeichnete Gestalt hat, ruht auf einem isolirenden Glasfuße, und seine umgebogenen Enden tragen Hollundermarkkügelchen, welche an feinen Metall- oder an Leinenfäden befestigt sind. Nähert man nun diesem Stabe eine geriebene Glasstange, so fahren die Kügelchen alsbald auseinander, indem die einen den positiv, die andern den negativ elektrischen Zustand verrathen. Der Metallstab zeigt also an seinen beiden Enden entgegengesetzte elektrische Zustände. Entfernt man den elektrischen Körper wieder, so fallen auch die Kügelchen wieder zusammen, indem der Leiter in seinen gewöhnlichen Zustand zurückkehrt. Bringt man aber den isolirten Leiter, während noch der elektrische Körper auf ihn wirkt, mit dem Boden in leitende Verbindung, so wird der an dem abgekehrten Ende vorhandene elektrische Zustand aufgehoben, und der Leiter befindet sich nun, nach Entfernung der elektrischen Glasstange, auf seiner Oberfläche überall in einem gleichartigen elektrischen Zustande, welcher dem des



Glases entgegengesetzt ist. So sucht jeder elektrische Körper in einem ihm genäherten das elektrische Gleichgewicht aufzuheben, dergestalt, daß der ihm zugekehrte Theil dieses Körpers den entgegengesetzten, das abgewendete aber den gleichnamigen elektrischen Zustand erhält. Wäre also in dem obigen Beispiele der Körper negativ elektrisch, so würde das zunächst liegende Ende des Leiters positiv, das andere dagegen negativ elektrisch werden. Es ist dies das **Gesetz der elektrischen Vertheilung**. Den Raum innerhalb dessen ein elektrischer Körper noch einen bemerkbaren Einfluß auf andere Körper ausübt, nennt man gewöhnlich seinen **Wirkungskreis** oder seine **elektrische Atmosphäre**.

Zur bequemen Darstellung dieser Erscheinungen ist auch nebenstehender Apparat (Fig. II.) von **Rieß** *) sehr geeignet. Ein Draht a b ist an einer isolirenden Hand-

*) Poggend. Ann. Bd. XXXVII. S. 642. Dove's Repertorium. Bd. II. S. 33.

habe befestigt und trägt an seinen abgerundeten Enden Hollundermarkkügelchen, die an Leinenfäden herabhängen. A ist eine isolirte Metallkugel, von welcher der vertheilende Einfluß ausgeht, wenn man ihr eine bestimmte Elektricität mittheilt.

Man kann hierüber einen Versuch auch in der Weise anstellen, daß man zwei gleiche Elektroskope durch einen Metalldraht mit einander verbindet, und dann dem einen eine geriebene Harz- oder Glasstange nähert. In beiden Instrumenten divergiren die Pendel, und zwar in dem einen in Folge des negativen, in dem anderen auf Grund des positiv elektrischen Zustandes. Nimmt man nun, so lange der elektrische Körper noch in der Nähe ist, den verbindenden Metallstab hinweg, so hat man die beiden elektrischen Zustände getrennt, indem die Divergenz der Pendel auch nach der Entfernung jenes Körpers noch fortdauert. Der Gegensatz der elektrischen Zustände in beiden Apparaten ergiebt sich, wenn man einen und denselben elektrischen Körper nach einander dem einen und dem anderen Elektroskop nahe bringt. Die Divergenz der Pendel sieht man dann in dem einen zunehmen, in dem anderen verschwinden. Dasjenige, welches dem vertheilend wirkenden Körper zunächst stand, ist diesem ungleichartig, das andere gleichartig elektrisirt. Verbindet man nun die Elektroskope von Neuem durch einen Leiter, so fallen die Pendel in beiden zusammen, indem die entgegengesetzten elektrischen Zustände sich gegenseitig aufheben. Mehr über das Gesetz der elektrischen Vertheilung weiter unten.

Nähere Betrachtung verschiedener elektrischer Erscheinungen mit Rücksicht auf theoretische Begründung.

Die Art und Weise, wie das, was man Elektricität nennt, von Körper zu Körper übergeht, wie es die Materie erschüttert und unter Umständen zertrümmert, ruft die Vorstellung von einem besonderen Fluidum hervor, welches die betreffenden Erscheinungen bedingt. Nicht blos die bisher betrachteten, sondern auch die meisten anderen noch zu betrachtenden elektrischen Erscheinungen weisen auf die Existenz eines solchen Fluidums hin. Dasselbe bedingt indessen nicht schon an und für sich die elektrischen Erscheinungen, sondern nur im Verein mit den Elementen der Materie, woran diese Erscheinungen hervortreten. Die Schnelligkeit, womit die Elektricität in den Leitern sich verbreitet, deutet an, daß sie ein höchst bewegliches Fluidum ist, d. h. daß zwischen ihren eigenen Elementen sich sehr bald Repulsion (Abstoßung) einstellt, wenn es einigermaßen in einem Körper angehäuft ist. Den Thatsachen zufolge muß aber eine gewisse Anziehung zwischen den Elementen des Elektricums und den Elementen oder Molecülen der Materie stattfinden, weil sonst kein reeller Zusammenhang zwischen denselben gedacht werden könnte. Wegen der Verschiedenheit der Körper, je nachdem sie aus diesen oder jenen Stoffen zusammengesetzt sind, wird auch die Anziehung zwischen dem Elektricum und verschiedenen Körpern ungleich sein. Dann kommt noch die verschiedene Configuration und die größere oder geringere Dichtigkeit der Körper in Betracht. Von diesen verschiedenen Umständen wird vorzugsweise die Freiheit abhängen, womit das Elektricum in der Materie sich bewegen kann (s. d. Art. Leiter der Elektricität). Eine gewisse Menge des Elektricums, das wir mit E bezeichnen wollen, wird auf Grund der zwischen ihm und den Molecülen der Materie bestehenden Anziehung der letzteren sich beharrlich anschließen können, indem es die

Molecüle in der Form von Sphären einhüllt. Sobald aber diejenige Quantität von E, welche mit der Materie sich beharrlich verbinden kann, überschritten wird, entsteht eine verstärkte Repulsion zwischen den Elementen des Elektricums selbst, wodurch es genöthigt ist, sich auf der Oberfläche des Körpers auszubreiten. Es läßt sich wahrscheinlich machen, daß die Repulsion zwischen diesen Elementen erst dann beginnt, wenn ihrer zu viele in einem Molecül der Materie sich begegnen und sie dadurch mit der Constitution der letzteren in Conflict gerathen. Vermöge der Repulsion aber, welche zwischen den Elementen des Elektricums auf der Oberfläche des Körpers statt hat, wird dasselbe einen Antrieb empfangen, sich in den umgebenden Raum zu zerstreuen. Soll die wirkliche Zerstreuung des E verhindert werden, so muß der umgebende Raum von einer Materie erfüllt sein, welche ihm keine freie Bewegung gestattet, d. h. also von einem schlechten Leiter der Elektricität, z. B. von trockner atmosphärischer Luft. Kraft der fortdauernden Wirksamkeit jener Repulsion wird das an der Oberfläche des Körpers angehäufte E einen Druck ausüben, der sich unbestimmt in die umgebende Materie fortpflanzen kann. Da aber das E auch um die Elemente und Molecüle dieser Materie seine Sphären gebildet haben wird, so können sich die letzteren hinsichtlich jenes Druckes nicht gleichgiltig verhalten. Ist nun die umgebende Materie eine solche, worin das E sich nicht frei bewegen kann, so wird der von der Oberfläche des Körpers ausgehende Druck zunächst auf die elektrischen Sphären dieser Materie, die sich gewissermaßen als elastische Kügelchen betrachten lassen, seine Wirkung äußern, indem sie an der einen Seite, woher der Druck kommt, abgeplattet, an der anderen aber ausgedehnt, also dort dichter, hier dünner werden. Nun können aber diese Sphären jenen Druck nicht in sich aufnehmen, ohne zu reagiren, und eben dadurch, daß sie die Gewalt, welche sie erleiden, zurückwirken lassen, halten sie das Elektricum auf der Oberfläche des Körpers fest. Man sieht aber auch, daß es nicht einerlei sein kann, wie die Oberfläche, von welcher der erwähnte Druck ausgeht, gestaltet ist. Kommt der Druck von einer concaven Fläche, so convergiren seine Richtungen, die elektrischen Sphären drängen wider einander, und widerstehen einander um so mehr, je größer die Concavität ist. Das Gegentheil findet statt, wenn der Druck von einer erhabenen (converen) Fläche ausgeht, weil alsdann seine Richtungen divergiren. Die Sphären hindern dann einander viel weniger, sie sind weit nachgiebiger, und das E, welches den Druck bewirkt, wird sich an solchen Flächen vorzugsweise ansammeln, da eben der größte Theil des Widerstandes, welcher bei concaven und ebenen Flächen stattfindet, hier wegfällt. Ist also das E in irgend einer Masse angehäuft, so wird seine Dichtigkeit an solchen Punkten am größten sein, welche convex gegen die Umgebung sind, mithin Hervorragungen, Spitzen und dergleichen bilden. Hieraus folgt ganz einfach, daß die Elektricität auf einer Kugel sich ganz gleichförmig vertheilen muß, nicht aber auf Körpern, deren Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen hin ungleich ist.

Die auf der Oberfläche eines Körpers befindliche Elektricität ist frei, in sofern sie nur das Bestreben hat, die Oberfläche zu verlassen und in den umgebenden Raum einzudringen. Auf dieses freie Elektricum äußert die Materie der Körper keine Anziehung mehr, weil dasselbe außerhalb des quantitativen Verhältnisses liegt, nach welchem sich die Elemente des E mit den Molecülen der Materie verbinden und das den natürlich elektrischen Zustand derselben bedingt. Das freie Elektricum kann, wiederum auf Grund jener Repulsion, nur auf der Oberfläche

der Körper verweilen, während das Innere des letzteren sich im Zustande des natürlichen elektrischen Gleichgewichts befindet. Allerdings wird das an der Oberfläche eines Körpers angehäufte E einen bestimmten Druck ausüben gegen die elektrischen Sphären, welche sich um die Moleciüle im Inneren gebildet haben; aber diese wirken zurück und das Resultat solcher gegenseitigen Reaction ist eben das Verweilen der freien E auf der Oberfläche. Ueberdies läßt sich vermittelst einer sehr einfachen geometrischen Betrachtung einsehen, daß die verschiedenen von der Oberfläche ausgehenden Einwirkungen auf eine innere elektrische Sphäre sich gegenseitig aufheben, was namentlich im Falle eines kugelförmigen Leiters fast unmittelbar einleuchtet. Das Innere ist gleichgiltig gegen die aus der elektrischen Repulsion entspringenden Vorgänge an der Oberfläche. Ein hohler Leiter, der von einer unendlich dünnen Kugelschale gebildet ist, kann sich nicht anders verhalten als ein massiver von gleichen Dimensionen. Ein und dieselbe Elektricitätsmenge muß sich auf der Oberfläche des einen wie auf der des anderen gleichmäßig verbreiten, falls die die Oberfläche bildenden Molecüle diejenige Elektricitätsmenge schon enthalten, welche sie überhaupt mit sich verbinden können. Für die Art der Vertheilung von Belang ist hier nur die Ausdehnung und Gestalt der Oberfläche. Wir wissen, daß freies E auf der Oberfläche eines Körpers diese zu verlassen strebt. Bringt man nun eine mit freiem E versehene Kugel von Kupfer oder Messingblech mit einer gleich großen Hohlkugel in Berührung, so verliert sie gerade die Hälfte ihrer freien Elektricität. Wird aber eine elektrisirte Kugel, die auf einem isolirenden Glasfuße steht, von zwei Halbkugeln mit etwas größerem Durchmesser vollständig umschlossen, so verbreitet sich ihre freie Elektricität ganz und gar auf den letzteren. Die Halbkugeln müssen mit isolirenden Handgriffen versehen sein, an denen man sie mit der elektrischen Kugel in Berührung bringen und wieder rasch davon entfernen kann. Bringt man ein Elektrometer in das Innere eines hohlen isolirten Leiters, so verräth es, selbst wenn dieser sehr stark mit E beladen ist, keine Spur freier Elektricität. Faraday ließ sich zu Versuchen dieser Art einen großen Hohlwürfel anfertigen. Ein Holzrahmen von 12 Fuß Seite wurde mit Kupferdraht umwickelt, dann mit Papier und zuletzt überall mit Stanniol überzogen. Als nun demselben mit Hülfe einer Elektrisirmaschine eine starke Ladung von E gegeben war, brachte Faraday einen Metalldraht, an dessen einem Ende sich eine lange isolirende Glasröhre befand, in die Mitte des Würfels, ohne jedoch die Anzeige freier Elektricität zu erhalten. Ebenso wenig gab sich dieselbe durch feinere Elektrometer kund.

Der elektrische Druck, welcher von einem Körper auf die umgebende Materie ausgeübt wird, ist ohne Zweifel um so mächtiger, je stärker die Anhäufung des E, mithin auch je größer die Dichte desselben auf der Oberfläche des Körpers ist; und die Abstoßung zwischen den Elementen der Elektricität ist natürlich gegenseitig. Während aber die partiellen Repulsionen sich einerseits aufheben, vereinigen sie sich andererseits zu einer Totalkraft, die in unserem Falle senkrecht gegen die Oberfläche gerichtet ist. Wenn nun die Anzahl der Elemente an einer bestimmten Stelle vergrößert wird, so ist die Dichtigkeit der elektrischen Schicht nicht blos an dieser Stelle, sondern auch an allen übrigen Punkten der Oberfläche auf proportionale Weise gewachsen. Der Druck der Elektricität gegen die Umgebung ist gleich dem Producte aus der Dichte der elektrischen Schicht in die Repulsivkraft jedes Elements gegen alle übrigen. Nun steht aber ohne Zweifel diese Kraft oder vielmehr die

Mittelkraft aller Repulsionen, welche auf ein Element von allen übrigen ausgeübt wird, mit der Dichte der elektrischen Schicht an der Stelle, wo dieses Element sich befindet, im directen Verhältniß. Demnach ist der Druck oder auch die Spannung (Tension) des freien Elektricums dem Quadrate seiner Dichtigkeit proportional.

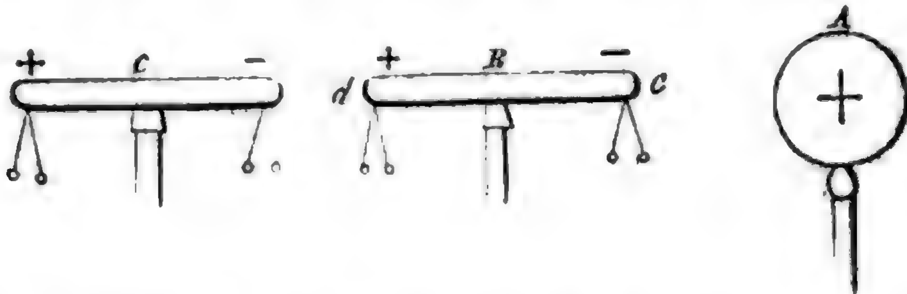
Wie schon bemerkt, kann nur auf einer Kugel eine gleichmäßige Vertheilung des Electricums stattfinden. Für ein Ellipsoid fand Poisson, daß die Dichte des E am Ende der großen Axe sich zur Dichte am Ende der kleinen verhalte, wie die große zur kleinen Axe. Bei einem cylindrischen Leiter mit abgerundeten Enden ist die Dichtigkeit des E an den Enden viel größer als in der Mitte und am größten ist sie an den Enden der Cylinderaxe. Auch prismatische Leiter zeigen an den Enden eine stärkere elektrische Anhäufung als in der Mitte; überdies ist sie an den Ecken und Kanten größer als anderwärts. Bei einer kreisförmigen Metallscheibe nimmt die Dichte des E nach dem Rande hin allmälig, in der Nähe des letzteren aber plötzlich zu, so daß sie am Rande selbst ihr Maximum erreicht. Hat der Leiter eine kegelförmige Gestalt oder ist er mit einer Spitze versehen, so häuft sich an dieser die Elektricität vorzugsweise an, und erreicht hier eine solche Spannung, daß sie den Widerstand der Luft überwindet und mit Leichtigkeit ausströmt. Zur experimentalen Prüfung dieser Gesetze gebrauchte Coulomb ein sogenanntes Probescheibchen, das aus einem Stäbchen von Schellack besteht, an dessen einem Ende ein kleines Scheibchen aus Blattgold befestigt ist. Berührt man mit diesem Scheibchen die Oberfläche eines elektrisirten Körpers, so wird es die Elektricität der von ihm bedeckten Stelle annehmen, und die Stärke seiner Ladung ergiebt sich durch Anwendung der Coulomb'schen Drehwage (s. d. Art. u. Elektrometer), oder auch dadurch, daß man dasselbe mit der Platte eines gewöhnlichen Elektrometers in Berührung bringt und die Divergenz der Pendel berücksichtigt. Diese Divergenz stellt sich immer gleich stark heraus, wenn man das Probescheibchen nach und nach mit verschiedenen Stellen einer elektrischen Kugel berührt. Anders verhält es sich bei Körpern von ungleichförmiger Ausdehnung.

Die bisherigen theoretischen Betrachtungen beziehen sich lediglich auf die Annahme Eines elektrischen Fluidums, das wir uns auf der Oberfläche eines Körpers angehäuft dachten. Wir gehen nun zur näheren Erörterung des bekannten Gegensatzes zwischen dem positiv und negativ elektrischen Zustande und der damit zusammenhängenden Erscheinungen über.

Denken wir uns eine Menge von Körpern, welche in bestimmten Entfernungen einander gegenüberstehen, so wird zwischen ihnen elektrisches Gleichgewicht stattfinden, wenn die Repulsion oder der elektrische Druck, welcher von ihren Oberflächen ausgeht, bei allen gleich stark ist. Tritt aber Ueberschuß oder Mangel an E in dem einen oder anderen dieser Körper ein, so ist das Gleichgewicht aufgehoben.

Es sei ein sogenannter Leiter der Elektricität, d. h. ein Körper, worin das E sich frei bewegen kann, mit diesem angefüllt. Dann wird dasselbe sich nach der Oberfläche begeben, um sich von hier aus vermöge der zwischen seinen Elementen bestehenden Repulsion zu zerstreuen. Damit dies verhindert werde, mag der Leiter von einem sogenannten Nichtleiter, z. B. von trockner atmosphärischer Luft, umgeben sein. Diesem Leiter werde in einiger Entfernung ein zweiter Leiter B gegen-

übergestellt, welcher sich im natürlichen Zustande befindet, d. h. welcher von E nicht dergestalt erfüllt ist, daß er gegen seine Umgebung einen ebenso starken Druck wie jener ausüben kann. Nun wirkt der von A herkommende Druck durch die



elektrischen Sphären der Luft hindurch auf B und zwar zunächst auf den vorderen Theil desselben, wodurch das hier befindliche E genöthigt wird, die andere Hälfte von B einzunehmen. Die elektrische Spannung auf der dem Leiter B zugekehrten Fläche von A wird aber dadurch, daß sie sich auf den ersteren fortpflanzt, geschwächt, und deshalb werden die auf der hinteren Fläche von A befindlichen Elemente, zwischen denen die Repulsion noch unvermindert besteht, veranlaßt, sich nach jener Seite zu begeben, von der, wie so eben bemerkt, die Spannung nachgelassen hat. Das auf A angesammelte Elektricum hat nun seine freie Beweglichkeit zum Theil eingebüßt, weil es wegen der Fortpflanzung seines Druckes auf B und vermöge der freien Beweglichkeit das E in diesem Leiter das Bestreben hat, in denselben einzudringen. Zugleich hat der Leiter A die Fähigkeit erlangt, noch eine gewisse Quantität von E aufzunehmen, und die Capacität des A für neues E wird noch größer werden, wenn man das in B aufgeregte E ableitet, weil alsdann der Gegendruck des letzteren wegfällt. Das von A abgewendete Ende von B befindet sich nun mit A in demselben elektrischen Zustande, weil das E des Leiters B durch die Wirkung des beschriebenen Druckes hier angehäuft ist. Dagegen ist das dem A zugekehrte Ende von B in dem entgegengesetzten elektrischen Zustande, weil hier jetzt weniger E als unter gewöhnlichen Umständen vorhanden ist *). Diese entgegen gesetzten Zustände sind in der Figur durch + und — bezeichnet.

Man muß sich vorstellen, daß durch die Wirkung des Druckes, welchen das auf A angehäufte E auf B ausübt, die elektrischen Sphären des letzteren von der Seite c nach der entgegengesetzten d eine Verschiebung erleiden, so daß die Dichte der Elektricität von jener nach dieser Seite hin allmälig zunimmt und bei d selbst ihren größten Werth erreicht. Denkt man sich nun B durch Querschnitte in unendlich dünne Schnitte zerlegt, so kann man auf der Oberfläche, von c ausgehend, jeden vorhergehenden Schnitt in Bezug auf den nachfolgenden für negativ elektrisch, und umgekehrt, wenn man von d ausgeht, jeden vorhergehenden in Hinsicht auf den folgenden für positiv elektrisch ansehen.

Giebt man derjenigen Elektricität, welche während der Vertheilung an der einen Seite eines isolirten Leiters angehäuft ist, eine hinreichende Ableitung, so geräth der Leiter auf seiner Oberfläche in einen gleichartigen elektrischen Zustand,

*) Die herabhängenden Pendel divergiren, weil sie von den elektrischen Sphären der Luft nach entgegengesetzten Richtungen angezogen werden. Siehe im Text weiter unten.

welcher dem des vertheilend wirkenden Körpers stets entgegengesetzt, also in unserem Falle negativ ist. In dem Moment, wo die in dem Leiter B aufgeregte freie Elektricität abgeleitet wird, gelangt das Ende d wieder in seinen natürlichen elektrischen Zustand, so daß die hier hängenden Pendel zusammenfallen. Nach der Entfernung aus der Wirkungssphäre jenes Körpers erscheint er negativ elektrisirt, da er nun gerade so viel E weniger enthält, als durch die Wirkung des bekannten Druckes zur freien Thätigkeit aufgeregt und durch Verbindung mit der Erde abgeleitet ist. Wäre A negativ elektrisirt, d. h. hätte es weniger Elektricität als im gewöhnlichen Zustande, so würde die auf B vorhandene Elektricität, deren Elemente sich unter gewöhnlichen Umständen in nicht beträchtlicher Spannung befinden, sich nach A hinwenden, so daß nun bei c eine Verdichtung, bei d aber eine Verdünnung des E stattfände. Um diesen Fall bildlich darzustellen, hat man also nur die Zeichen + und — in der Figur zu vertauschen Bringt man den Leiter B, während der negativ elektrische Körper A noch in der Nähe ist, mit dem Boden in leitende Verbindung, so wird ihm einiges E mitgetheilt, und er zeigt sich dann, nach der Entfernung von A, positiv elektrisch.

Das an dem einen Ende von B angehäufte E übt wieder einen bestimmten Druck gegen seine Umgebung aus, so daß derselbe auf einem benachbarten Leiter C eine ähnliche Wirkung, wie A auf B, hervorzubringen vermag. Diese Wirkung ist aber lediglich eine secundäre, insofern ihre Ursache in dem elektrischen Drucke liegt, welcher von A ausgeht. Dieser ist es, welcher das E des Leiters B von c nach d hin treibt oder vielmehr verschiebt, und diese Verschiebung setzt sich fort bis zu dem Leiter C, der dann eine ähnliche Vertheilung wie B erleidet. Die Wirkung auf C findet auch dann noch statt, wenn das in B aufgeregte freie E durch eine leitende Verbindung mit dem Boden abgeführt und dadurch das von A abgekehrte Ende gewissermaßen in den natürlichen Zustand zurückversetzt ist. Damit fällt zwar die Wirkung des abgeleiteten E auf C fort, aber auch sein Gegendruck auf A. Das an dem einen Ende von B, nach der ableitenden Berührung, noch vorhandene E hat die Tendenz, sich so viel als möglich gleichmäßig auf dem Leiter B auszubreiten, also zum Theil nach c hin vorzurücken, weil hier weniger E als im natürlichen Zustande vorhanden ist. Diesem Streben wird bekanntlich genügt, sobald B aus der Atmosphäre von A heraustritt, wodurch es auf seiner ganzen Oberfläche in einen gleichartigen Zustand geräth, der in unserem Falle negativ elektrisch ist, da es nun überall weniger E als im gewöhnlichen Zustande enthält. Bleibt aber B in der Nähe von A, so dauert jene Verschiebung des noch vorhandenen E von c nach d hin fort und unter sonst geeigneten Umständen auch die Fortpflanzung derselben auf den Leiter C. Der Fall, wo ein mit der Erde communicirender Leiter sich gerade zwischen zwei anderen isolirten Leitern, von denen der eine elektrisirt ist, befindet, ist von Fechner *) und später auch von Munck af Rosenschöld **) genauer untersucht worden. Fechner nahm eine Metallscheibe von 9 Pariser Zoll 4 Linien Durchmesser und ungefähr 0,8 Linie Dicke, welche er, der Isolirung wegen, auf die obere Basis eines aufrecht gestellten Siegellackcylinders von 1,3 Zoll Durchmesser und 4 Zoll Höhe legte. Auf diese Scheibe

*) Poggend. Ann. Bd. LI. S. 321 ff.; Petrina ebenda. Bd. LXI. S. 116.
**) Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 44 ff.

wurden dann 3 kleine Siegellacksäulchen von 1 Zoll Höhe gesetzt, um auf dieselben eine zweite, der ersten gleiche Metallscheibe zu legen, die also in 1 Zoll Abstand von der ersten sich befand. Diese wurde nun, während die obere durch einen Draht mit dem Erdboden leitend verbunden war, durch momentane Berührung mit dem Knopfe einer Leidner Flasche positiv geladen, und dann der oberen, bei fortdauernder Verbindung mit dem Boden, eine isolirte Metallplatte von oben genähert, welche, nach augenblicklicher Berührung ihrer Rückseite mit dem Finger zurückgezogen und einen Elektroskope dargeboten wurde, um die durch Vertheilung hervorgerufene Elektricität an dieses zu übertragen. Die letztere zeigte sich nun allemal negativ und dies konnte nur von der überwiegenden positiven Wirkung der untersten Platte herrühren. Das Maximum der Wirkung trat ein, wenn die Prüfungsplatte sich in einem gewissen Abstande von der mittleren, mit der Erde communicirenden Scheibe befand. Dasselbe Resultat stellte sich heraus, als anstatt der Prüfungsplatte das Elektroskop selbst in den Wirkungskreis dieser Scheibe gebracht und ableitend berührt wurde. Wenn die letzterwähnte Scheibe, während sich die vertheilende Scheibe und das Elektroskop in fester Lage befinden, zwischen beiden hin und her bewegt wird, so tritt immer ein Maximum der Wirkung ein, wenn dieselbe ungefähr in der Mitte zwischen Elektroskop und vertheilender Scheibe sich befindet.

Der Versuch läßt sich auch in der Weise anstellen, daß man über den Knopf einer geladenen, nicht isolirten Leidner Flasche eine Metallscheibe hält und dieser die Prüfungsplatte so nähert, daß sie ganz in den Schatten der Scheibe, sowohl in Betreff des Knopfes als auch des ganzen Umfanges der Flasche fällt. Die Wirkung fällt um so stärker aus, je kleiner die Zwischenscheibe ist, und nimmt überdies zu, wenn man die Prüfungsplatte vielmehr dem Rande, als der Mitte der Zwischenscheibe nähert. Fechner bediente sich bei diesen Versuchen gewöhnlich seines Säulenelektroskops, konnte jedoch auch die Wirkung am Goldblattelektrometer nachweisen, wenn die Zwischenscheibe nicht zu groß war.

Wenn nun zwei (oder mehrere) isolirte und im gewöhnlichen Zustande befindliche Leiter in bestimmten Entfernungen von einem elektrisirten Leiter aufgestellt sind, so kann der vertheilende Einfluß des letzteren sich auf alle erstrecken, und dabei werden sie natürlich sowohl auf einander als auch auf den vertheilenden Körper zurück wirken. Diese gegenseitigen Einwirkungen müssen sich aber verändern, wenn der eine oder andere von jenen Leitern ableitend berührt wird oder wenn beide eine abwechselnde Berührung erfahren. Auch darf nicht übersehen werden, daß ein mit der Erde verbundener Leiter, wenn er mit einem anderen in der Wirkungssphäre eines elektrisirten Körpers befindlichen Leiter in Berührung gebracht wird, mit diesem ein leitendes System ausmacht und selbst dem vertheilenden Einflusse mehr oder weniger ausgesetzt ist, wobei seine Lage gegen den berührten Leiter und namentlich auch die Ausdehnung seiner Oberfläche nicht ganz gleichgiltig sein kann. Hierher gehören einige ebenfalls von Fechner *) angestellte Versuche, deren Resultate sich übrigens auf Grund der bisherigen Betrachtungen ohne Schwierigkeit erklären lassen. Eine kupferne Kugel von 3 Zoll Durchmesser war mit dem inneren positiven Beleg einer isolirten kleinen Leidner Flasche

*) A. a. O. S. 332 ff.

verbunden und dieser Kugel gegenüber ein messingener Leiter, isolirt auf einem überfirnißten Glasfuße, aufgestellt. Dieser Leiter war cylindrisch von 5,2 Pariser Linien Durchmesser, mit kugelförmigen Knöpfen von 8,3 Linien Durchmesser an den Enden und überhaupt 16 Zoll lang. In der Figur auf Seite 725 bezeichnet A die Kugel und B den Leiter, dessen Gestalt hier freilich eine etwas andere ist. Der Abstand zwischen beiden betrug unter den angegebenen Umständen 2 Pariser Zoll.

Wenn der Zeigefinger, bei übrigens eingeschlagener Hand, den Leiter bei c, senkrecht gegen dessen Länge berührte, so nahm ein an einem Schellackstiel befestigtes Scheibchen aus Goldblatt überall negative Elektricität vom Leiter auf, aber mit zunehmender Stärke nach c hin. Dies fand auch dann statt, wenn die Prüfungsscheibe auf den berührenden Finger oder die Hand gesetzt wurde. Waren bei d Goldblättchen vorhanden, so divergirten dieselben schwach, aber unzweideutig. Nachdem der Finger von c zurückgezogen, gab die größere Hälfte des Leiters nach d zu positive, die kleinere nach c zu negative Elektricität an die Prüfungsscheibe ab. Goldblättchen bei d divergirten nicht unbeträchtlich.

Berührt man den Leiter bei d, so daß der Finger senkrecht auf dem Leiter ist, oder in dessen Verlängerung fällt, so giebt der ganze Leiter von c bis d, und selbst die berührende Hand wieder negative Elektricität ab, gleichfalls wachsend nach c zu. Die Goldblättchen bei d zeigten keine oder doch nur eine zweideutige Divergenz. Die Elektricität bei d ist in diesem Falle so schwach, daß sie nur mit Hülfe der Prüfungsscheibe an einem Säulenelektroskop nachgewiesen werden kann. Wird der Finger von d zurückgezogen, so zeigt sich auch jetzt noch der ganze Leiter von d bis c negativ elektrisch, zunehmend nach c hin. Nach der Berührung von c ist also der abgekehrte Theil des Leiters positiv, nach der Berührung von d aber schwach negativ elektrisch.

Nehmen wir nun die Kugel A beispielsweise als wirklich positiv elektrisch an, so treibt der von ihr ausgehende elektrische Druck sowohl das E des Leiters als auch das des Fingers, der bei c aufliegen mag, zurück. Die von c nach d zurückgedrängte und verdichtete Elektricität muß jedoch, in Folge der Repulsion zwischen ihren Elementen, zum Theil in den Finger entweichen, welcher mit dem Boden in Verbindung steht. Dasselbe begegnet dem E der Prüfungsscheibe, wenn diese auf den Leiter oder auch auf die berührende Hand aufgesetzt wird und so einen integrirenden Theil des leitenden Systems ausmacht. Die Scheibe wird also überall negative Elektricität anzeigen, aber natürlich in abnehmendem Grade nach d zu. Legt man den Finger bei d auf, so geschicht im Wesentlichen dasselbe wie zuvor, nur mit dem Unterschiede, daß das von c nach d verdrängte E nun freier in den Finger übergehen kann, der jetzt weniger dem vertheilenden Einflusse des A ausgesetzt ist. Wegen dieses freieren Abflusses des in B aufgeregten E erlangt das letztere keine solche Spannung, um eine merkliche Divergenz der bei d angebrachten Goldblättchen zu bewirken, was im vorigen Falle, wo der Abfluß des E ein gehemmter war, geschehen konnte. Aus demselben Grunde giebt die eine Hälfte des Leiters nach d zu merkliche positive Elektricität zu erkennen, wenn der Finger von c zurückgezogen wird, dagegen schwache negative Elektricität, wenn man den Finger von d zurückzieht.

Wenn die Kugel A nicht dem einen Ende, sondern der Mitte des Leiters B in 2 Zoll Entfernung gegenüberstand, so zeigte sich die Mitte des isolirten Leiters

ringsum negativ, die Enden dagegen rings positiv elektrisch. Der elektrische Druck, welcher von A ausgeht, muß hier ganz natürlich eine Vertheilung des E im Leiter von der Mitte aus nach beiden Seiten hin bewirken. An der Vorderfläche erstreckte sich der negativ elektrische Zustand beträchtlich weiter gegen die Enden hin als an der Hinterfläche.

Stellt man einer isolirten Scheibe eine gleich große elektrisirte Scheibe parallel gegenüber, so erleidet die erstere nach Fechner's und Munk af Rosenschöld's*) Versuchen eine Vertheilung in der Art, daß die ungleichartige Elektricität auf der vorderen Fläche, von der Mitte nach dem Rande, abnimmt, die gleichartige auf der hinteren dagegen, von der Mitte nach dem Rande hin, zunimmt.

Dem Uebergange der Elektricität aus dem einen Körper in den anderen oder der Mittheilung der Elektricität geht allemal eine elektrische Vertheilung voraus. Nähert man A, das wieder, wie in der Figur angegeben, positiv elektrisch sein mag, bis auf eine gewisse Entfernung dem Leiter B, so kann die auf A wirksame Elektricität den isolirenden Widerstand der Luft überwinden und in der Form eines elektrischen Funkens zum Theil nach B übergehen. Das übergehende Quantum von E entspricht genau der Wirksamkeit des elektrischen Druckes, und die nach der Erscheinung des Funkens auf B angehäufte Menge positiver Elektricität ist jedenfalls gleich dem Verluste, den A erlitten hat, oder auch gleich derjenigen Quantität freier Elektricität, welche durch die Wirkung jenes Druckes in B aufgeregt ist. Es versteht sich von selbst, daß bei unmittelbarer Berührung von A und B eine größere Menge übergehen wird. Eben so leicht erkennt man, daß der Uebergang des E von A nach B leichter und aus größerer Entfernung stattfinden wird, wenn der Leiter B während des vertheilenden Einflusses von A mit der Erde in leitender Verbindung steht. Denn das in B vorhandene Elektricum, welches durch die elektrische Wirksamkeit von A anders vertheilt, nämlich von c nach d hin verschoben wird, übt eine bestimmte Gegenwirkung aus, die wegfällt, wenn man ihm durch eine leitende Verbindung mit der Erde Gelegenheit zum Entweichen giebt. Ist A negativ elektrisch, so sammelt sich das dem Leiter B eigenthümliche Elektricum in c an, um von hier nach A überzugehen. Auch in diesem Falle wird der Uebergang begünstigt, wenn B durch einen Leiter mit der Erde verbunden ist. Denn dadurch, daß das auf B vorhandene E sich dem negativ elektrischen A zuwendet, und somit in einen gebundenen Zustand geräth, erlangt B die Fähigkeit, eine gewisse Quantität neues E aufzunehmen, die ihm auch unter den angegebenen Umständen von der Erde zugeführt wird. Damit wächst aber das Streben des bei c angehäuften E nach dem negativ elektrisirten A überzugehen.

Die sogenannte negative Elektricität hat also für uns keine andere Bedeutung als den eines Mangels an E, sie bezeichnet denjenigen Zustand eines Körpers, worin dieser weniger Elektricum als im gewöhnlichen Zustande enthält. Freie negative Elektricität bezieht sich auf einen solchen negativ elektrischen Zustand, welcher einen Körper befähigt, neues E mit einer gewissen Begierde von außen aufzunehmen. Die negative Elektricität ist, wie man zu sagen pflegt, gebunden, wenn der Körper ungeachtet des Mangels an E nicht im Stande ist, solches von einer bestimmten Seite her mit Leichtigkeit anzunehmen. Dieser Fall kommt vor, wenn ein Leiter unter dem Einflusse eines positiv elektrisirten Körpers

*) Poggend. Ann. Bd. LXIX S. 44. 223.

steht. (Siehe Fig. S. 725). Der von A ausgehende elektrische Druck treibt das E des Leiters B von c nach d hin, so daß hier freie positive, dort aber gebundene negative Elektricität entsteht. Obgleich nun das an der Oberfläche von B haftende E von c nach d hin getrieben und folglich bei c weniger als sonst vorhanden ist, so kann dieser Stelle dennoch keine Elektricität durch einen mit der Erde in Verbindung stehenden Leiter zugeführt werden, weil dies sowohl der elektrische Druck, welcher von A ausgeht, als auch der Gegendruck des auf B zurückgetriebenen E verhindert. Selbst dann, wenn das freie positive E abgeleitet ist, hat dies noch keine auffallende Folge für das E anderer Leiter, und zwar deshalb nicht, weil durch diese Ableitung die Wirksamkeit des elektrischen Druckes von A gesteigert ist, so daß das auf ihm befindliche E jetzt stärker nach B hindrängt, um den daselbst entstandenen freien Raum auszufüllen. Diese sogenannte Bindung des negativ elektrischen Zustandes hängt übrigens ganz und gar ab von der Stärke des Druckes, also von der Stärke der Anhäufung des E auf dem Körper, von dem der vertheilende Einfluß herrührt. Vollständig wird sie nur dann sein, wenn dieser Körper neben jenem E, das in den Leiter einzudringen sucht, noch einiges freie enthält. Wird aber der Leiter B, nachdem ihm das durch die Vertheilung hervorgebrachte freie + E entzogen ist, aus der Wirkungssphäre von A entfernt, so wird nunmehr auch sein negativ elektrischer Zustand frei, d. h. das E anderer Körper, welche in seine Nähe kommen, wird sich nicht allein zu ihm hindrängen, sondern auch er selbst wird dasselbe aufzunehmen geneigt sein. Das Gegenstück zu diesem Falle ist der andere, wo A negativ elektrisch ist. Das Elektricum des Leiters B zieht sich dann bekanntlich von d nach c hin; hier entsteht gebundene positive Elektricität, in sofern sie nur das Bestreben hat, in das negativ elektrische A einzudringen, bei d aber freie negative Elektricität, da hier so viel E hinweggegangen als bei c angehäuft ist. Uebrigens ist von selbst klar, daß die positive und negative Elektricität sich allemal gegenseitig binden. Soll im zweiten Falle die positive Elektricität vollständig gebunden werden, so muß auf dem vertheilenden Körper A noch etwas freie negative Elektricität vorhanden sein, d. h. dieser Körper muß die Fähigkeit haben, noch etwas mehr E aufzunehmen, als er bei einem bestimmten Abstand vom Leiter B durch diesen überhaupt empfangen kann.

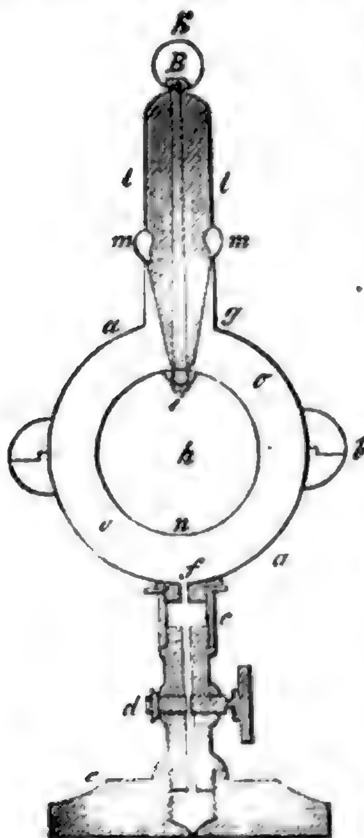
Der Begriff der gebundenen Elektricität wird bei Betrachtung der elektrischen Flasche und Tafel (s. dies. Artikel) wieder auftreten und dort noch mehr Licht erhalten. Ueber die numerischen Verhältnisse dieser Elektricität hat Knochenhauer *) Untersuchungen angestellt.

Die Vorgänge der elektrischen Vertheilung lassen sich auch leicht mit Hülfe eines gewöhnlichen Strohhalm- oder Goldblattelektrometers verdeutlichen. Nähert man der Platte dieses Instruments von oben einen elektrisirten Körper, z. B. einen positiven, so wird man alsbald einen Ausschlag der Pendel bemerken. Durch die Einwirkung des elektrischen Körpers ist nämlich die im Instrumente vorhandene Elektricität nach unten in die Pendel getrieben worden, so daß diese nun als positiv elektrisirt einander abstoßen müssen. Berührt man aber die Platte ableitend mit dem Finger, so geht in diesen die zurückgetriebene freie Elektricität des Instrumentes über; damit kehren die Pendel, sofern der vertheilende Körper noch in der Nähe ist, in den gewöhnlichen Zustand zurück, indem sie so viel positives E

*) Poggend. Ann. Bd. LVIII. S. 31.

abgeben, als in ihnen frei war. Ihr Ausschlag verschwindet. Das ganze leitende System des Instrumentes enthält nun gerade um die abgeleitete Quantität weniger E als im gewöhnlichen Zustande. Entfernt man jetzt den elektrischen Körper, so erfolgt wieder ein Ausschlag in Folge negativer Elektricität, indem die Pendel von den elektrischen Sphären der Umgebung angezogen werden. Nähert man dann den positiv elektrischen Körper von Neuem, so fallen die Pendel wieder zusammen, und man ist auch nicht im Stande, den negativ elektrischen Zustand des Apparates durch Zuleitung von E aus dem Boden aufzuheben, falls nur die positive Elektricität des genäherten Körpers noch mächtig genug ist. Der Grund ist klar. Der elektrische Druck dieses Körpers treibt wieder diejenige Quantität von E in die Pendel, welche im Augenblicke seiner vormaligen Hinwegnahme und nach der ableitenden Berührung der Platte in ihnen enthalten war und die ihren natürlichen elektrischen Zustand bedingte. Sie können also nicht mehr divergiren. Aber das Instrument kann auch kein E von der Erde aufnehmen, weil dies der Druck der freien positiven Elektricität des in der Nähe befindlichen Körpers nicht gestattet, sondern vielmehr diese selbst in das Instrument einzudringen sucht, und bei hinreichender Annäherung, auch wirklich eindringt.

Wenn ein schlechter Leiter der Elektricität, der also der letzteren keine freie Bewegung gestattet, in die Nähe eines elektrischen Körpers gebracht wird, so erstreckt sich dessen unmittelbare Einwirkung nur auf einen verhältnißmäßig sehr kleinen Theil des Isolators. Wir wollen annehmen, der Cylinder B (s. d. Figur auf S. 725) sei ein Glasstab oder eine Glasröhre mit abgerundeten Enden; dann wird durch die Wirkung des positiv elektrischen A das Elektricum an dem vorderen Ende der Glasröhre auf eine gewisse Strecke zurückgetrieben, so daß an einer bestimmten Stelle rings um das Glas eine Anhäufung des E entsteht. Das hier angehäufte E wirkt nun wieder vertheilend auf das nächstfolgende Stück der Glasröhre, wodurch in einem gewissen Abstande eine abermalige Anhäufung des E bewirkt wird. Indem dies so in abnehmendem Grade fortgeht, bildet sich auf der Oberfläche des Glases eine Reihe von Zonen, die abwechselnd positiv und negativ elektrisch sind.



Faraday hat mit einem besonderen Apparate, den er Differential-Inductor nennt, eine große Menge von Vertheilungsversuchen in verschiedenen Flüssigkeiten und Gasen angestellt, die sich nach der aufgestellten Theorie ohne Schwierigkeit erklären lassen. Das wesentliche Stück dieses Apparates ist eine messingene Kugel a a, die aus zwei luftdicht schließenden, inwendig wohl polirten Hälften besteht, und auf eine Luftpumpe geschraubt werden kann. Die innere Kugel h ist an einem messingnen Stiele i befestigt, der an seinem oberen Ende den Messingknopf B trägt. Dieser Stiel ist in dem Halse g luftdicht eingekittet, und zwar vermittelst der Schellackmasse l l, die ihn überdies allenthalben umschließt. Bei f ist die Kugel a a mit einer kleinen Oeffnung versehen, um der Luftart, welche den

inneren Raum der äußern großen Kugel füllt, einen Durchgang zu verstatten. Will man nun die Vertheilung der Elektricität in verschiedenen Flüssigkeiten oder Gasen untersuchen, so macht man die Kugel luftleer und läßt die getrockneten Gase hineintreten.

Nach Faraday's Versuchen hängt die Menge der durch Vertheilung hervorgerufenen Elektricität nicht nur von der Entfernung des vertheilenden Körpers, sondern auch von dem isolirenden Zwischenkörper ab. Trockne Gase machen hierin keinen merklichen Unterschied, während bei nichtleitenden, festen und flüssigen Körpern (wie bei Schellack, Schwefel, Terpentinöl) die Wirkung größer als bei der Luft ist. Faraday stellte drei runde Messingscheiben, die auf isolirenden Säulen befestigt waren, parallel in gleichen Abständen neben einander auf, und theilte der mittleren Scheibe eine bestimmte, z. B. positive Elektricität mit. Alsdann zeigten sich, nach dem bekannten Gesetze der elektrischen Vertheilung, die der mittleren Scheibe zugewandten Seiten der beiden äußeren Scheiben negativ und die abgewandten Seiten gleich stark positiv elektrisch. Wurde aber zwischen die mittlere Scheibe und eine der äußeren eine gleich große Schellackplatte eingeschoben, so zeigte sich hier eine stärkere Vertheilung als an der anderen Scheibe, welche blos durch eine gleich dicke Luftschicht von der mittleren getrennt war. Hiernach pflanzt also ein isolirender Zwischenkörper den vertheilenden Einfluß um so vollständiger auf einen Leiter fort, je weniger er selbst der Vertheilung fähig ist.

Es ist bereits erörtert, daß die Vertheilung der freien positiven Elektricität auf einem Leiter lediglich von der Gestalt der Oberfläche abhängt. Dies gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, daß nicht andere Leiter sich in der näheren Umgebung des elektrischen Leiters befinden. Im Gegentheil kommt alles dasjenige in Betracht, was wir von der Wirksamkeit des elektrischen Druckes oder von dem Gesetze der elektrischen Vertheilung zwischen elektrisirten und gewöhnlichen Leitern entwickelt haben. Kommt z. B. ein positiv elektrischer Leiter in die Nähe eines anderen, der sich im gewöhnlichen Zustande befindet, so wissen wir, was geschieht; das Elektricum des ersteren häuft sich vorzugsweise an den Punkten an, welche dem anderen zunächst liegen. Dasselbe findet natürlich noch mehr statt, wenn ein positiv elektrisirter Leiter einem negativ elektrisirten genähert wird. Wenn zwei mit freier positiver Elektricität behaftete Leiter, z. B. zwei Kugeln, einander gegenüberstehen, so treibt die elektrische Repulsion, welche von beiden ausgeht, das E eines jeden von der zugekehrten Seite nach der abgewendeten, so daß die Dichte des E an den zunächst liegenden Punkten am geringsten, an den von einander entferntesten am größten ist. Dieser Unterschied ist um so merklicher, je geringer die Entfernung beider Leiter ist, am größten also bei unmittelbarer Berührung. Sind die berührenden Kugeln von ungleicher Größe, so zeigt sich auf der kleineren eine stärkere elektrische Spannung als auf der größeren, wenn man ähnlich liegende Punkte beider Kugeln mit Hülfe der Probescheibe untersucht, und zwar um so bedeutender, je kleiner diese Kugel im Verhältniß zur anderen ist. Durch Aneinanderreihen von Kugeln, von denen jede folgende kleiner als die vorhergehende ist, kann die auf der kleinsten angehäufte Elektricität beliebig verdichtet und ihre Spannung dergestalt gesteigert werden, daß sie den Widerstand der Luft zu überwinden vermag. Ein solches System von Leitern verhält sich also ähnlich wie ein conischer Leiter, an dessen Scheitel das angesammelte E die höchste Tension erreicht.

Der negativ elektrische Zustand muß, wie die positive Elektricität, auf einer Kugeloberfläche gleichmäßig, auf Leitern von anderer Gestaltung aber ungleichmäßig verbreitet sein. Auch dies läßt sich mit Hülfe des bekannten Probescheibchens bewahrheiten. Bringt man nämlich dasselbe mit der Oberfläche eines negativ elektrisirten Leiters in Berührung, so nimmt es den elektrischen Zustand der von ihm bedeckten Stelle an, und zwar in unserem jetzigen Falle dadurch, daß es etwas von seinem eignen E an dieselbe abgiebt. Dieser Verlust entspricht aber vollständig dem Grade des negativ elektrischen Zustandes an der berührten Stelle, und wird bei Leitern, deren Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen ungleich ist, nicht an allen Punkten derselbe sein. Wenn man eine negativ elektrisirte Kugel mit einer anderen kleineren und im gewöhnlich elektrischen Zustande befindlichen Kugel zusammenbringt, so wird auch diese negativ elektrisirt, indem sie jener ihre eigene Elektricität zum Theil mittheilt, und ihr negativ elektrischer Zustand tritt gewiß um so merklicher hervor, je kleiner ihre Oberfläche im Verhältniß zur anderen Kugel ist. Reiht man auch hier eine gewisse Anzahl solcher Kugeln aneinander, von denen jede folgende kleiner als die vorhergehende ist, so wird die Intensität des negativ elektrischen Zustandes auf der kleinsten am größten sei. Nimmt man aber statt eines solchen Systems von Leitern einen einzigen mit conischer Oberfläche, so ist es wieder der Scheitel oder die Spitze, an welcher der negativ elektrische Zustand den größten Werth erreicht.

Die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen lassen sich nun nach unserer Theorie leicht erklären. Man denke sich zwei bewegliche Körper, von denen der eine positiv, der andere negativ elektrisch in unserem Sinne ist, der also weniger Elektricität als im gewöhnlichen Zustande enthält. Werden beide Körper hinreichend genähert, so wird der von dem positiv elektrischen Körper ausgehende Druck zunächst auf die elektrischen Sphären der Luft wirken, so daß sich diese nach dem negativ elektrischen Körper hindehnen und in diesen zum Theil eingreifen, ohne sich doch von den Molecülen der Luft zu trennen. Hierdurch wird aber dieser Körper offenbar zu dem positiv elektrischen hingezogen, und zwar wird die Annäherung fortwährend beschleunigt, indem der Körper nach Stellen kommt, in welchen der elektrische Druck stärker, also auch die Anziehung bedeutender ist. Sind beide Körper beweglich, so ist die Annäherung natürlich gegenseitig. Daß zwischen entgegengesetzt elektrisirten Körpern Anziehung stattfinden muß, folgt von selbst, wenn man bedenkt, daß das auf dem positiv elektrischen Körper angehäufte E das Bestreben hat, sich mit den Molecülen des negativ elektrisirten Körpers zu verbinden. Denkt man sich aber beide Körper überfüllt mit E, oder, was dasselbe ist, beide positiv elektrisirt, so verbreiten sie jenen Druck gegeneinander, woraus Abstoßung hervorgeht. Die Voraussetzung der Attraction ist also, daß der elektrische Druck nur von einem der beiden Körper ausgeht; denn nur dadurch ist es möglich, daß die Sphären des E in die Molecüle des anderen Körpers eingreifen und diesen zu jenem hinziehen. Es ist nun noch ein dritter Fall möglich, nämlich daß beide Körper negativ elektrisirt sind oder daß sie weniger Elektricum als die umgebende Materie enthalten. Die elektrischen Sphären der letzteren werden sich alsdann ringsum zu diesen Körpern hindehnen, um das elektrische Gleichgewicht wieder herzustellen, wodurch die Körper selbst nach entgegengesetzten Richtungen angezogen werden, was dem Beobachter den Schein einer gegenseitigen Abstoßung gewährt.

Je stärker die Anhäufung des E, mithin auch je größer die Dichte desselben auf der Oberfläche eines Körpers, desto stärker der elektrische Druck. Die Anziehung zwischen zwei entgegengesetzt elektrisirten Körpern wird also um so bedeutender sein, je größer die Dichte des E in dem einen und je größer der Mangel an E in dem anderen Körper ist; denn um so stärker wird das Bestreben des auf dem positiven Körper angehäuften E sein, sich mit den elektrischen Elementen des negativen Körpers zu verbinden. Die Abstoßung zwischen zwei positiv elektrisirten Körpern muß mit der Dichte des E auf ihrer Oberfläche in directem Verhältniß stehen, bei zwei negativ elektrisirten Körpern aber mit der Größe des Mangels an E, weil mit ihm die Anziehung zwischen den elektrischen Sphären der Umgebung und diesen Körpern in demselben Verhältniß wachsen wird. Die Stärke der gegenseitigen Einwirkung zweier gleichnamig und ungleichnamig elektrisirten Körper ist aber selbstverständlich auch noch von ihrer Entfernung abhängig. Wegen der sphärenartigen Ausbreitung der elektrischen Wirksamkeit muß man voraussetzen, daß sie mit dem Quadrate der Entfernung abnimmt. Bezeichnet man also durch m die Elektricitätsmenge, welche auf der Oberfläche eines Körpers angehäuft ist, durch m' die Größe des Mangels an E auf der Oberfläche eines anderen Körpers, und endlich durch d ihre Entfernung; so hat man nach der vorstehenden Betrachtung für die Gesammtstärke der wechselseitigen Anziehung zweier ungleichartig elektrisirter Körper die Formel $\frac{m\,m'}{d^2}$. Dieser Ausdruck gilt auch für die gegenseitige Abstoßung positiv elektrischer Körper, wenn m und m' die Mengen der auf diesen Körpern angehäuften Elektricität bezeichnen; und nicht minder gilt er für die scheinbare Abstoßung zweier negativ elektrisirter Körper, falls m und m' die Größen des Mangels an E in beiden Körpern, oder die diesen Größen entsprechenden Elektricitätsmengen bedeuten, mit welchen die jene Körper umgebende Materie dem Gesetze der elektrischen Vertheilung gemäß sich ladet.

Die eben erörterten Gesetze der elektrischen Anziehung und Abstoßung lassen sich nach Coulomb am einfachsten mittelst der sogenannten elektrischen Nadel experimental nachweisen. Dieselbe besteht aus einem sehr dünnen etwa 1 Zoll langen Stäbchen aus Schellack, an dessen einem Ende ein kleines, kreisförmiges Metallblättchen oder auch ein Scheibchen von Goldpapier befestigt ist. Sie ist an einem Coconfaden horizontal aufgehängt und befindet sich in der Nähe einer, auf einem isolirenden Fuße stehenden Kugel von Metallblech, deren Durchmesser etwa 12 Zoll beträgt. Ihr Abstand von der Nadel kann nach Belieben verändert werden, da ihr Fuß auf einem in Zolle getheilten Brette in gerader Linie verschiebbar ist. Wenn die Nadel sich in der Ruhelage befindet, geht die Linie, welche den Unterstützungspunkt mit dem Mittelpunkte des Scheibchens verbindet, zugleich durch den Mittelpunkt der Kugel. Ueberdies kann man den Mittelpunkt der kleinen Scheibe als den gemeinschaftlichen Angriffspunkt der auf ihr wirksamen elektrischen Kräfte betrachten. Wird nun sowohl die Kugel als auch das Scheibchen elektrisirt, so wird die letztere sich aus ihrer Ruhelage entfernen und eine Reihe von Schwingungen machen. Nach den Gesetzen des Pendels verhalten sich aber die beschleunigenden Kräfte wie die Quadrate der Schwingungszahlen oder umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten. Man kann daher aus der Zeit, welche die Nadel nöthig hat, um unter gegebenen Umständen eine gewisse Anzahl von

Schwingungen zu vollenden, die Stärke der gegenseitigen Einwirkung zwischen Nadel und Kugel bestimmen. Zu diesem Behufe bringt man die letztere in möglichst kurzer Zeit in verschiedene Entfernungen von der Scheibe, und mißt für jede Entfernung die Zeit, welche zur Vollendung einer bestimmten Anzahl von Schwingungen erforderlich ist. Diese Zeit wird um so länger ausfallen, je größer der Abstand beider Körper, d. h. die Entfernung des Mittelpunktes der Scheibe vom Mittelpunkte der Kugel ist. Coulomb bestimmte die Schwingungszeiten für drei Abstände; der erste betrug 9 Zoll, der zweite 2 . 9 = 18 und der dritte 3 . 9 = 27 Zoll. Die zur Vollführung von 15 Schwingungen erforderlichen Zeiten waren nach einander 20, 41 und 60 Secunden. Da nun die Quadrate dieser Zeiten sich nahe wie 1 : 4 : 9 verhalten, so stehen die elektrischen Einwirkungen in diesen drei Fällen im Verhältniß von 1 : 2 : 3, wie es sein muß, wenn die elektrischen Wirkungen mit den Quadraten der Entfernungen abnehmen, also mit diesen im umgekehrten Verhältniß stehen sollen. Uebrigens ist bei diesen Versuchen auch noch auf den Elektricitätsverlust, welcher unter sonst gleichen Umständen der Dichte der angehäuften Elektricität proportional ist, Rücksicht zu nehmen, (s. d. Art. Elektrometer). Von diesem Verluste rührte es her, daß bei dem dritten Versuche die Kugel bis auf 24 Zoll Abstand der Nadel genähert werden mußte, damit diese 15 Schwingungen in 60 Secunden vollenden konnte.

Nachdem man die Zeit ermittelt, welche die Nadel bei einem gewissen Abstande von der Kugel zur Vollendung von etwa 15 Schwingungen nöthig hat, bringe man die Kugel mit einer anderen, ebenfalls isolirten, aber unelektrischen Kugel von gleicher Größe und Beschaffenheit in Berührung; dann wird sie dieser die Hälfte ihrer freien Elektricität abgeben. Bestimmt man jetzt von Neuem und zwar bei unverändertem Abstande der Kugel die Schwingungszeit der Nadel für die bezeichnete Anzahl von Oscillationen, so ergiebt sich aus dem quadratischen Verhältniß dieser beiden Schwingungszeiten das Resultat, daß die Größe der gegenseitigen Einwirkung um die Hälfte sich vermindert hat. Dasselbe stellt sich heraus, wenn man das Scheibchen mit einem anderen unelektrischen von gleicher Beschaffenheit und Größe in Gemeinschaft bringt, vorausgesetzt dabei, daß die Kugel indeß keinen merklichen Verlust an E erlitten hat. Es ist also richtig, daß die Gesammtwirkung zweier elektrisirter Körper auch im zusammengesetzten Verhältniß der Intensitäten steht, mit welchen die elektrischen Zustände in beiden Körpern hervortreten.

Diese Gesetze lassen sich ebenso durch die Coulomb'sche Drehwage bestätigen (s. Elektrometer).

Wenn die Dichtigkeit des E auf der Oberfläche eines Körpers eine gewisse Grenze überschreitet, so erreicht die Repulsion zwischen den Elementen des E einen so hohen Grad, daß dieselben nicht mehr auf der Oberfläche bleiben können. Befindet sich ein Leiter in der Nähe, so wird in diesem eine Vertheilung der Elektricität bewirkt und die Elemente des auf jenem Körper angehäuften E dringen in denselben ein. Je ausgedehnter die Oberfläche dieses Leiters, desto größer ist seine Capacität für das E und desto vollständiger wird dann auch die Entladung des Körpers sein, in welchem die Elektricität angehäuft ist. Auch ist zu erwarten, daß bei diesem Vorgange Massentheilchen des mit E beladenen Körpers mit fortgerissen werden. Im luftverdünnten Raume muß es dem E, wegen des geringen Widerstandes,

natürlich weit leichter werden, die Oberfläche eines Körpers zu verlassen. Doch muß auch schon bei gewöhnlicher Anhäufung des E ein Verlust stattfinden, in Folge dessen sich der elektrische Körper fortwährend mit seiner Umgebung ins elektrische Gleichgewicht setzt, indem er allmälig sein überschüssiges E verliert. Denn die Elektricität wird durch die Repulsion zwischen ihren Elementen bekanntlich nach der Oberfläche getrieben, von wo aus sie, weil die Repulsion auch hier noch und zwar in verstärktem Maße, wirksam ist, jenen Druck ausübt, welcher sich durch die umgebende Materie fortpflanzt. Dieser Druck ist aber unmittelbar mit dem Streben des E, sich von der Oberfläche des Körpers zu entfernen, verbunden, und nur die Rückwirkung der elektrischen Sphären der Umgebung verhindert, daß sich das E merklich von der Oberfläche des Körpers entfernt. Bei stärkerer Anhäufung wird nun der Widerstand, welcher aus dieser Rückwirkung entspringt, überwunden; das E entweicht und erscheint in der Form des elektrischen Funkens. Während hier das elektrische Gleichgewicht sich mehr mit einem Male herstellt, findet bei geringerer Ladung des Körpers mit E kraft jenes Druckes ein allmäliges Entweichen desselben und damit ein ebenso allmäliges Zurückkehren in den gewöhnlichen Zustand statt. Da sich das E an Hervorragungen und namentlich an Spitzen vorzugsweise ansammelt, so wird auch an diesen der Verlust am größten sein.

Auch der am besten isolirte Leiter erfährt stets einen gewissen Verlust, theils durch die Luft, theils durch die isolirenden Träger, indem er in diesen eine Vertheilung bewirkt, kraft deren ihr eigenes E zum Theil in den Boden getrieben wird. Dabei giebt der Leiter einen bestimmten Theil seines E an den Träger ab, um den Verlust, welchen dieser erlitten hat, zu ersetzen. Der Verlust durch die isolirenden Träger ist namentlich dann von Bedeutung, wenn sie mit einer Feuchtigkeitsschicht bedeckt sind. Deshalb überzieht man sie mit Schellackfirniß, der sich durch seine Isolationsfähigkeit auszeichnet, und sucht die anhängende Feuchtigkeit überdies noch durch Erwärmen möglichst zu beseitigen. Wenn ein Leiter durch seine Stützen vollständig isolirt ist, so darf er mit mehreren derselben in Berührung gebracht keinen weiteren Verlust erleiden. Diese isolirenden Träger sind übrigens um so länger zu nehmen, je größer die Dichte der angehäuften Elektricität und je geringer ihre Isolirfähigkeit ist. Indessen kann jeder schlecht leitende Körper bei mäßiger Spannung der Elektricität eine hinlängliche Isolation bewirken, falls sein Leitungswiderstand der Spannung des vorhandenen E das Gleichgewicht zu halten vermag.

Wenn ein Leiter negativ elektrisirt ist, so dehnen sich die elektrischen Sphären der Umgebung und auch die der isolirenden Träger zu ihm hin, um in denselben einzudringen; und das Eindringen geschieht wirklich, sobald der negative elektrische Zustand eine gewisse Intensität erreicht hat.

Der größte Theil des Verlustes, welchen ein isolirter Leiter in der Luft erleidet, kommt auf Rechnung der darin enthaltenen Feuchtigkeit; aber auch in ganz trockner muß er nach dem Früheren einiges E verlieren, was durch den Versuch bestätigt wird (s. Elektrometer). Nach Coulombs Versuchen beträgt der Verlust an trocknen Tagen während einer Minute durchschnittlich $1/_{60}$ bis $1/_{70}$ der mittleren Spannung, an feuchten Tagen aber häufig $1/_{20}$ derselben, und ist überhaupt in der Zeiteinheit der Dichte der Elektricität proportional.

Aus früheren Betrachtungen erhellt zur Genüge, daß die Form des Leiters, auf dem die Elektricität angehäuft ist, für das Entweichen der letzteren nicht gleich-

giltig sein kann. Die Wirkung der Spitzen ist bekannt. Befindet sich eine solche auf der Oberfläche eines Leiters, so erlangt an ihr die Elektricität eine solche Spannung, daß sie mit Leichtigkeit in die Luft entweicht. Die Lufttheilchen in der Nähe der Spitze werden ohne Zweifel gleichnamig elektrisirt, so daß sie von der Spitze und untereinander eine Zurückstoßung erleiden, wodurch eine mehr oder weniger heftige Luftströmung bewirkt wird, die sich erkennen läßt, wenn man die Flamme einer Kerze in die Nähe bringt. Wenn man an dem Conductor einer Elektrisirmaschine ein an den Enden nach entgegengesetzten Richtungen umgebogenes und zugespitztes Metallstäbchen so befestigt, daß es im Gleichgewicht befindlich, aber im horizontalen Sinne auf einer Spitze leicht drehbar ist, so wird es während der Thätigkeit der Maschine in eine lebhafte Rotation versetzt. Es geschieht dies durch das Ein- oder Ausströmen des elektrischen Fluidums, je nachdem der Conductor negativ oder positiv elektrisch ist, oder vielmehr durch die Luftströme, welche auf die beiden umgebogenen Enden im entgegengesetzten Sinne wirken. Körper mit glatter, überall wohl abgerundeter Oberfläche halten die mitgetheilte Elektricität am längsten zurück, so namentlich Kugeln.

Wenn in der Nähe eines stark elektrisirten Körpers sich verschiedenartige Körper befinden, so wissen wir, daß in ihnen allen, nach dem bekannten Gesetze der elektrischen Vertheilung, der natürliche Zustand gestört wird. Die guten Leiter werden unter sonst gleichen Umständen die stärkste Einwirkung erfahren, da das Elektricum in ihnen freie Beweglichkeit besitzt. Ist nun jener Körper beispielsweise stark positiv elektrisirt, so wird der von ihm ausgehende elektrische Druck das den anderen Körpern eigenthümliche E nach den entgegengesetzten Seiten hin zurückdrängen, und zwar um so leichter und stärker, je größer die Freiheit ist, womit das Elektricum in diesen Körpern sich bewegen kann, kurz gesprochen also, je größer ihre Leitungsfähigkeit ist. Durch dieses Zurückdrängen des E in den umgebenden Körpern entsteht aber für das auf der Oberfläche jenes Körpers angehäufte E freier Raum, den es einzunehmen sucht und unter gegebenen Umständen auch wirklich einnimmt. Sein Druck wirkt zwar auf alle Körper in seiner Umgebung, aber doch vorzugsweise auf denjenigen, welchem die größte Leitfähigkeit zukommt. Auf diesen wird es nun auch in Gestalt eines Funkens überspringen, zumal wenn derselbe mit der Erde in leitender Verbindung steht, so daß sein zurückgedrängtes E in dieselbe entweichen kann. Hat aber der elektrische Körper auf diese Weise sein freies positives E verloren, so muß das in den anderen Körpern zurückgedrängte und an den entgegengesetzten Seiten angehäufte E wieder in ihnen hervortreten und in den gewöhnlichen Gleichgewichtszustand zurückkehren. Dies wird natürlich um so gewaltsamer geschehen, je größer die Menge der zurückgedrängten Elektricität war, und wird auf die Theilchen des Leiters eine ähnliche Wirkung hervorbringen, wie der directe elektrische Schlag. Deshalb pflegt man auch die Rückkehr der, in Folge einer starken Vertheilung, an der einen Seite eines Leiters angehäuften Elektricität in den natürlichen Gleichgewichtszustand durch das Wort Rückschlag zu bezeichnen. Derselbe macht sich besonders bemerklich, wenn thierische Organismen, z. B. ein Frosch, in der Nähe eines stark elektrisirten Leiters, wie des Conductors einer Elektrisirmaschine sich befindet. Sobald dieser nach einer bestimmten Richtung hin sich entladet, indem er seine Elektricität einem anderen Leiter mittheilt, werden die Elemente des im Thiere zurückgetriebenen E in ihre frühere Gleichgewichtslage zurückkehren mit einer Stärke oder Intensität, welche der

stattgehabten Einwirkung des elektrisirten Conductors entspricht, und dabei eine Nervenerschütterung bewirken.

Ist ein isolirter Leiter stark negativ elektrisirt, so werden sich die elektrischen Sphären der umgebenden Körper zu ihm hindehnen, um in den dargebotenen freien Raum einzudringen. Das eigene E dieser Körper wird sich also an den dem negativ elektrischen Körper zugekehrten Seiten anhäufen, während der an den abgekehrten Seiten entstehende Verlust durch Zuleitung aus dem Boden ersetzt wird, falls mit diesem die Körper leitend verbunden sind. Uebrigens kommen hier dieselben Umstände in Betracht, wie im vorigen Falle. Giebt nun einer dieser Körper sein freies E an den negativ elektrisirten Körper ab, wodurch dieser seinen natürlichen Zustand annimmt, so müssen auch die Elemente des in den übrigen Körpern vorgedrängten E wieder in die gewöhnliche Gleichgewichtslage zurücktreten, und gerade so, wie im vorigen Falle, die Erscheinung des sogenannten Rückschlages darbieten.

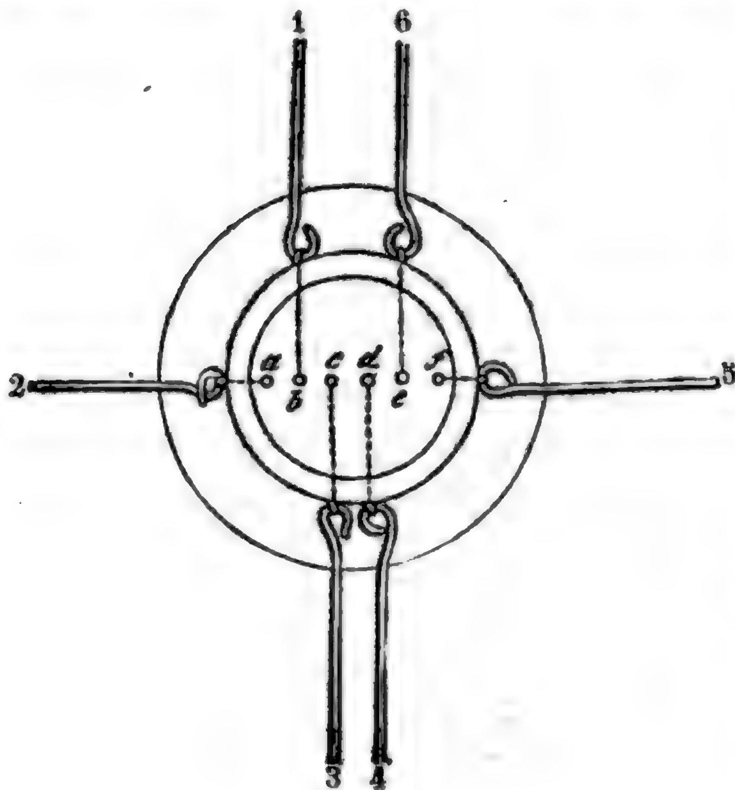
Die Geschwindigkeit, mit welcher die Elektricität oder vielmehr die Störung des elektrischen Gleichgewichts sich in einem Leiter fortpflanzt, ist ohne Zweifel ausnehmend beträchtlich. Interessante Versuche hierüber und über die Dauer des elektrischen Lichtes hat Wheatstone*) angestellt. Derselbe gebrauchte zu diesem Behufe einen Planspiegel, der um eine in seiner Ebene liegende Axe vermittelst einer besonderen Vorrichtung in eine rasche Rotation versetzt werden konnte. Wird vor diesem Spiegel ein leuchtender Punkt, z. B. eine Lichtflamme in einer gewissen Entfernung aufgestellt, so beschreibt das reflectirte Bild einen vollen Kreis, während der Spiegel eine halbe Umdrehung macht, da die Winkelgeschwindigkeit des Bildes, einem optischen Gesetze zufolge, doppelt so groß als die des Spiegels ist. Bei einer vollen Umdrehung des Spieges beschreibt also das Bild zwei Kreise, falls auch die Rückseite des Spiegels eine reflectirende Fläche darstellt. Ueberschreitet die rotirende Bewegung des Spiegels eine gewisse Geschwindigkeit, so vereinigen sich die Eindrücke der successiven Bilder zu einer vollkommenen Lichtlinie, indem diese Eindrücke an allen den Stellen, welche das Bild nach und nach durchläuft, noch eine Zeit lang im Auge nachwirken. So gewahrt das Auge bei einer zweckmäßigen Stellung gegen den Spiegel einen Lichtstreifen, der ein Bogen des beschriebenen Kreises und um so größer ist, je näher das Auge dem Spiegel steht. Auch das Bild des elektrischen Funkens muß, wenn dieser eine gewisse Zeitdauer besitzt, in die Länge gezogen erscheinen, und zwar um so mehr, je größer seine Zeitdauer und je schneller die Rotation des Spiegels ist, so daß sich aus diesen beiden Größen die Länge des Lichtbogens und umgekehrt aus dieser Länge die Zeitdauer des Funkens berechnen läßt.

Macht der Spiegel 50 Umdrehungen in 1 Secunde, so durchläuft er einen halben Grad in $\frac{1}{2.50.360} = \frac{1}{36000}$ einer Secunde, während das Bild denselben Weg in $\frac{1}{2.36000} = \frac{1}{72000}$ Secunde zurücklegt, da seine Geschwindigkeit, wie schon bemerkt, doppelt so groß als die des Spiegels ist.

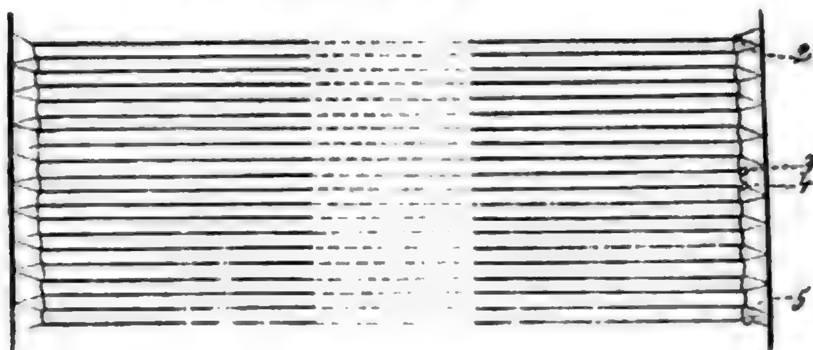
*) Phil. Transact. 1835. T. II p. 583. Poggend. Ann. Bd. XXXIV S. 464.

Wheatstone bot nun dem Spiegel bei dieser Umdrehungsgeschwindigkeit nach einander dar: vier Zoll lange Funken, gezogen aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine; Entladungen einer Leidner Flasche; ein vier Fuß langes Glasrohr, worin der elektrische Funke längs einer schraubenförmigen Reihe von Scheibchen aus Zinnfolie überspringen mußte; ein luftleeres Glasrohr von sechs Fuß Länge, in welchem der Funke beim Durchgange eine ununterbrochene Linie von geschwächtem elektrischen Lichte erzeugte. In allen diesen Fällen erschienen jedoch die reflectirten Bilder, wenn sie innerhalb des Gesichtsfeldes auftraten, vollkommen ungeändert, und genau auf eben die Weise, wie wenn sie von dem ruhenden Spiegel reflectirt worden wären. Die Dauer des elektrischen Funkens beträgt hier also weniger als $\frac{1}{72000}$ einer Secunde. Bei Gelegenheit dieser Versuche machte Wheatstone noch eine andere interessante Wahrnehmung. Wenn man nämlich eine evacuirte Glasröhre nahe an den Conductor einer Elektrisirmaschine bringt, so sieht man zuweilen einen zusammenhängenden Lichtstrom; untersucht man aber denselben im rotirenden Spiegel, so zeigt es sich, daß die Continuität nur scheinbar ist, und von einer raschen Folge vorübergehender Blitze herrührt.

Da der eben angeführte Versuch in Bezug auf die Zeitdauer des elektrischen Funkens zu keinem bestimmten Resultate führte, so traf Wheatstone ein anderes Arrangement, indem er die Entladung einer Leidner Flasche durch einen langen Kupferdraht geschehen ließ, welcher an drei Stellen unterbrochen war. Auf diese Weise boten sich dem rotirenden Spiegel drei Funken dar. Auf einem Brette, das drei und einen halben Zoll im Durchmesser hielt, waren sechs Kugeln wohl isolirt in derselben Horizontallinie befestigt. Der Abstand zwischen den Kugeln a und b, zwischen c und d und zwischen e und f betrug einen Zehntelzoll und dies war auch die Schlagweite für jeden Funken. Die Kugel b stand mit der einen, die Kugel e mit der anderen Belegung einer Leidner Flasche durch die Drähte 1 und 6 in Verbindung. Außerdem war zwischen den Kugeln a und c eine leitende Verbindung hergestellt durch einen Kupferdraht, der 0,2 Zoll dick und $^1/_4$ englische Meile lang war, und durch einen ebenso langen Kupferdraht waren die Kugeln d und f mit einander verbunden. Der Versuch wurde in einer Gallerie angestellt. Der isolirte Draht, durch welchen auf die eben angegebene Weise eine Gemeinschaft



zwischen den beiden Belegungen der Leidner Flasche hergestellt war, hatte also eine Gesammtlänge von $^1/_2$ englische Meile und seine Anordnung zeigt nachstehende Figur. Die parallelen Theile des Drahtes waren jeder 120 Fuß lang,



sechs Zoll aus einander, und durch ebenfalls sechs Zoll lange seidene Schnüre an der Balustrade befestigt. Das Schwanken des Drahtes war durch quer über die Gallerie ausgespannte seidene Schnüre verhütet. Die mit 2, 3, 4, 5 bezeichneten Enden waren verbunden mit den ähnlich bezeichneten Drähten des Funkenbrettes, welches an der Mauer der Gallerie befestigt war.

Der Apparat mit dem rotirenden Spiegel befand sich 10 Fuß vom Funkenbrette und zwar in gleicher Höhe mit diesem. Die Rotationsaxe war horizontal und den sechs Kugeln parallel, und konnte durch eine Scheibe mit Schnur und durch Verbindung mit einem Räderwerke in eine rasche Umdrehung versetzt werden, so daß sich der Spiegel während 1 Secunde 800 mal umdrehte. Die Zahl der Umdrehungen wurde dadurch bestimmt, daß der Spiegel bei jeder Umdrehung gegen einen Streifen Papier schlagen mußte, wodurch ein Ton entstand, dessen Höhe eben die Umdrehungsanzahl mittelbar anzeigte.

Wenn nun eine Leidner Flasche durch das obige leitende System entladen wird, so erscheinen die drei Funken dem Auge vollkommen gleichzeitig. Ist dann die Vorderseite des Spiegels im Niveau mit dem Funkenbrette und demselben zugewandt, und macht er überdies einen Winkel von 45° mit dem Horizonte, so erblickt das Auge, bei senkrechtem Hinuntersehen, die reflectirten Bilder der drei Funken. Wird aber der Spiegel in Rotation versetzt, und übersteigt seine Geschwindigkeit eine gewisse Grenze, so erscheinen die drei Funken zu drei parallelen Linien verlängert, und diese Verlängerung wird beträchtlicher, so wie die Geschwindigkeit der Bewegung sich vergrößert. Die größte Verlängerung, welche beobachtet wurde, betrug etwa 24°, was eine Zeitdauer von ungefähr einem 24000 Theil einer Secunde anzeigt. Wenn der Spiegel sich 800 Mal in 1 Secunde umdreht, so würde die Verlängerung des Funkens zu $^1/_2$ Grad andeuten, daß der Funke einen Bestand von $\frac{1}{1152000}$ Secunde hatte. In diesem Falle legt nämlich der Spiegel $^1/_2$ Grad in $\frac{1}{2.360.800}$ und das Bild also denselben Weg in $\frac{1}{2.2.360.800} = \frac{1}{1152000}$ Secunde zurück. Eine Verlängerung des Funkens von $^1/_2$ Grad entspricht aber einer Größe, die in 10 Fuß Entfernung gesehen einem Zoll gleicht.

Bei hinlänglich großer Rotatiosgeschwindigkeit des Spiegels erschienen indessen nicht allein alle drei Funken in die Länge gezogen, sondern es zeigte sich auch noch

der mittlere gegen die beiden äußeren etwas verrückt. Wenn sich nämlich der Spiegel gegen die Rechte drehte, so hatten die drei Linien dies Ansehen: ———; drehte es sich gegen die Linke, so erschienen sie so: ——— *). Die Ablenkung zwischen dem mittleren Funken und den beiden äußeren betrug etwa $1/2$ Grad, woraus dann folgt, daß der mittlere Funke ungefähr um $\frac{1}{1152000}$ später erschien als die beiden äußeren.

Wheatstone zieht nun aus seinen Versuchen nachstehende Folgerungen.

1) Die Geschwindigkeit der Elektricität durch einen Kupferdraht übertrifft die des Lichts durch den planetarischen Raum.

2) Die Störung des elektrischen Gleichgewichts in einem Drahte, der an seinen Enden mit den beiden Belegungen einer Leidner Flasche verbunden ist, schreitet mit gleicher Schnelligkeit von den beiden Enden aus, und trifft in der Mitte des leitenden Bogens zuletzt ein.

3) Das Licht der Elektricität von hoher Spannung hat noch nicht die Dauer von einem Milliontel einer Secunde.

Da der mittlere Funke unter den angegebenen Umständen $\frac{1}{1152000}$ später erschien als die beiden äußeren, und da während dieser Zeit der elektrische Einfluß sich durch einen Kupferdraht von $1/4$ englische Meile erstreckt hatte, so bestimmt sich hieraus die Geschwindigkeit der elektrischen Ausbreitung in einem Kupferdrahte zu $\frac{1152000}{4} = 288000$ englischen oder 62500 deutschen Meilen in 1 Secunde.

Wheatstone hebt noch hervor, daß die Funkenlinien niemals so: ——— oder so: ——— erschienen wären, wie es doch die Ansicht von einem einzigen Fluidum erfordern würde. Dieser Einwurf trifft nur dann, wenn man annimmt, daß das elektrische Fluidum hier ohne Weiteres von der einen Belegung der Flasche zur anderen durch den Draht überströmt. Das Gesetz der elektrischen Vertheilung, das bereits oben seine Erklärung gefunden, verbietet aber eine solche Annahme, und von ihm muß man Anwendung machen, wenn die hier vorliegenden Verhältnisse gehörig beurtheilt werden sollen. Die Kugel b des Funkenbrettes (siehe Fig. Seite 739) stehe in Verbindung mit der positiven Belegung, die Kugel e mit der negativen Belegung der Leidner Flasche. Nun findet unter Voraussetzung Eines elektrischen Fluidums auf jener Belegung eine Anhäufung des E, auf dieser dagegen ein Mangel an E statt. Die Kugel b ist positiv, die Kugel e negativ elektrisch. Das auf b angehäufte Elektricum wirkt vertheilend auf die nahe liegende Kugel a, indem es das derselben inwohnende E in den Draht treibt, der diese Kugel mit c verbindet. In demselben Moment wendet sich aber auch die der Kugel f eigenthümliche Elektricität nach der negativ elektrischen Kugel e hin, um auf diese und von da auf die negative Belegung überzugehen, während das Elektricum auf b in a einzudringen sucht. Der vertheilende Einfluß, welcher von b und e ausgeht und sich selbstverständlich zunächst auf die Kugeln a und f erstreckt, muß sich von diesen Kugeln aus weiter durch die Drähte fortpflanzen, von denen der eine a mit c, der

*) D. h. in beiden Fällen war der mittlere Draht gegen die äußeren im Sinne der Rotation des Spiegels verschoben.

andere d mit f verbindet. Das Elektricum des ersten Drahtes erleidet eine Verschiebung von a nach c, und dasjenige des zweiten eine solche von d nach der Kugel f hin. Es ist klar, daß bei diesem Vorgange sowohl die Leitfähigkeit als auch die Länge des Drahtes von Bedeutung ist. Die Kugeln c und d aber gerathen in Folge des vertheilenden Einflusses in entgegengesetzt elektrische Zustände, und zwar wird c positiv, d negativ elektrisch. Diese Zustände können das Maximum ihrer Intensität freilich erst nach Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände erreichen, mit denen die Kugeln a und b, so wie e und f behaftet sind. In demselben Augenblicke aber, in welchem das E der positiven Belegung von b nach a übergeht, schlägt auch ein Funke von f nach e oder nach der negativen Belegung über, so daß die beiden äußeren Funken vollkommen gleichzeitig erscheinen. Dann also, wenn der Draht zwischen den Kugeln a und c etwas E von der positiven Belegung der Flasche empfangen, und der Draht zwischen d und f etwas von seinem eigenen E an die negative Belegung abgegeben hat, erreicht das in Folge jener Vertheilung auf c schon angesammelte E eine solche Spannung, daß es nach der negativ elektrischen Kugel d überspringen kann. Das Erscheinen des mittleren Funkens bezeichnet den Moment, in welchem das in dem Drahte gestörte elektrische Gleichgewicht sich wieder herstellt.

Die neuesten Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität haben Fizeau und Gounelle an den Drähten der elektrischen Telegraphen von Paris nach Rouen und von Paris nach Amiens angestellt *). Die beiden Drähte jeder dieser Linie konnten zu Rouen und zu Amiens vereinigt werden und bildeten sodann Leiter von außerordentlicher Länge, deren Enden in einem und demselben Saale des Ministeriums des Innern ausliefen. Für die Linie nach Amiens betrug die Länge 314 Kilometer, für die nach Rouen 288. Die erstere war aus Eisendrähten construirt, die zweite zu einem Drittel etwa aus Eisendraht und zu zwei Dritteln aus Kupfer. Das Princip der Messung bestand darin, daß man einen Strom gleichzeitig und in sehr kleinen Zwischenzeiten an zwei sehr entfernten Punkten des Leiters unterbrach und die in einem Galvanometer erzeugten Ablenkungen beobachtete. Die letzteren veränderten sich mit der Zahl der Umdrehungen, wurden für eine gewisse Zahl ein Maximum und für eine andere ein Minimum.

Die Unterbrechungen wurden auf folgende Weise hervorgebracht. Ein hölzernes Rad von 50 Millimetern hatte auf seinem Umfange 36 gleiche Abtheilungen, abwechselnd 18 von Platin und 18 von Holz. Dasselbe saß auf der Axe einer Fronnet'schen Rotationsmaschine, deren Geschwindigkeit ein Zähler zu messen erlaubte. Platinplatten, die paarweise und isolirt von einander angebracht waren, legten sich gegen die Abtheilungen, so daß jedes Paar einen Unterbrecher für sich bildete. Diese und die anderen konnten so geregelt werden, daß die Unterbrechungen zusammenstimmten oder abwechselten. Der Versuch wurde auf mehrere Weisen eingerichtet. Die beste bestand darin, ein Differential= oder Bifilar-Galvanometer (s. Galvanometer) und drei Unterbrecher A, B, C anzuwenden. Diese letzteren waren so eingerichtet, daß A mit B abwechselte und mit C übereinstimmte.

Eine Batterie war nun an dem einen Pole mit der Erde, und an dem anderen mit A und darauf mit dem Telegraphendrahte verbunden. Da die Drähte an dem anderen Ende der Leitung mit einander verknüpft waren, so kam der Strom in

---

*) Compt. rend. T. XXX. p. 437. Poggend. Ann. Bd. LXXX. S. 158.

dem anderen Drahte zurück. Letzterer stand in Verbindung mit B und C, jedes von diesen mit einem der Galvanometerdrähte und endlich jeder dieser Drähte mit der Erde. Der Strom konnte also auf zwei verschiedenen Wegen, die abwechselnd offen und verschlossen waren, zur Erde gelangen. Je nachdem der Durchgang durch den einen oder anderen geschah, ward die Magnetnadel in entgegengesetztem Sinne abgelenkt. Obschon nun während der Rotation des Rades nur discontinuirliche Ströme durch das Galvanometer gehen, so wird die Nadel doch, wenn die Unterbrechungen rasch aufeinander folgen, in derselben Weise wie durch einen stetigen Strom abgelenkt. Bei dieser Einrichtung wird die Fortpflanzungsgeschwindigkeit angezeigt durch periodische, den mehr oder weniger großen Rotationsgeschwindigkeiten entsprechende Veränderungen in den Ablenkungen. Diese Perioden sind aber nicht ganz ähnlich, die zweite ist weniger markirt als die erste, die dritte kaum bemerkbar. Für die Linie von Amiens erfolgte die erste Periode bei einer Geschwindigkeit von 9 Umläufen in der Secunde, für die Linie nach Rouen bei einer von 13,58 Umläufen.

Diese Versuche ergaben nun, daß die Elektricität in einem Eisendrahte von 4 Millimeter Durchmesser sich mit einer Geschwindigkeit von 100000 Kilometer pro Secunde, und in einem Kupferdrahte von 2,5 Millimeter Durchmesser mit einer Geschwindigkeit von 180000 Kilometer fortpflanzt. Dieselbe ändert sich also mit der Natur der Leiter, ist aber der Leitfähigkeit nicht proportional und überdies unabhängig von der Natur und Zahl der Elemente, aus denen die Batterie besteht.

Wheatstone erhielt für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität 460000 Kilometer, also eine bedeutend größere als die von Fizeau und Gounelle ermittelte. Noch geringere Werthe fanden Walker *) und Mitchel **) in Cincinnati, die ebenfalls zu ihren Versuchen über diesen Gegenstand telegraphische Leitungsdrähte benutzten. Nach dem ersteren beträgt die Geschwindigkeit in Eisendrähten 30000 Kilometer oder 18700 englische Meilen, nach dem Letzteren, der übrigens das Material des von ihm gebrauchten Drahtes unerwähnt läßt, im Mittel 28524 engl. Meilen in der Secunde.

Wir müssen hier noch einer anderen Theorie der elektrischen Erscheinungen gedenken, welche von R. Symmer ***) begründet worden ist. Nach dieser giebt es zwei entgegengesetzt elektrische Flüssigkeiten, die sich untereinander gleich stark anziehen, während die Theilchen einer jeden sich gegenseitig gleich stark abstoßen. Ein Körper ist hiernach in seinem natürlichen Zustande, wenn er von einer jeden dieser Flüssigkeiten gleich viel besitzt. Beide bilden dann ein neutrales Product, das durch + dargestellt werden kann, wenn man die eine Flüssigkeit durch + und die andere durch — bezeichnet. Doch hat man, wie Munk af Rosenschöld ****) bemerkt, nicht nöthig anzunehmen, daß beide Elektricitäten etwa durch eine Art von chemischer Verwandtschaft eine Verbindung eingehen, durch welche ihre anziehenden und abstoßenden Wirkungen aufgehoben werden. Man

*) Steinheil in astron. Nachr. Nr. 679.

**) Phil. Magaz. Ser. III. T. XXXVI. p. 284; Instit. 1850. p. 294. Poggend. Ann. Bd. LXXX. S. 161.

***) Phil. Trans. Vol. LI. p. 1.

****) Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 44.

braucht sich nur vorzustellen, daß die Verbreitung beider im Inneren des Körpers dieselbe sei; dann werden die Wirkungen der positiven Elektricität auf einen innerhalb oder außerhalb des Körpers befindlichen Punkt genau aufgehoben durch die Wirkungen der negativen Elektricität auf denselben Punkt, der sich also als ganz frei ansehen läßt. Ist nun ein Körper mit der einen oder anderen Flüssigkeit vorzugsweise behaftet, so ist er positiv oder negativ elektrisirt, und wird dann in einem benachbarten Leiter das elektrische Gleichgewicht aufheben, indem die auf seiner Oberfläche freie Elektricität die gleichartige des Leiters zurückstößt, die ungleichartige dagegen anzieht. So erklärt sich das Gesetz der elektrischen Vertheilung zwar im Allgemeinen, aber ein eigentliches Freiwerden der gleichartigen Elektricität im Leiter folgt daraus noch nicht. Wenn man zwei Körper aneinander reibt, so soll die Verbindung beider Elektricitäten oder das zwischen ihnen bestehende Gleichgewicht in der Art aufgehoben werden, daß die eine Elektricität vorzugsweise in dem reibenden, die andere in dem geriebenen Körper auftrete. Wie diese Trennung bewirkt wird, läßt die Hypothese unerklärt. Manche nehmen freilich eine Anziehung der Materie zu Hülfe, indem sie sagen, daß die Anziehung zwischen dem Körper und der betreffenden Flüssigkeit größer sei als die Anziehung beider Flüssigkeiten untereinander. In dieser Anziehung allein kann aber, unter Voraussetzung zweier elektrischer Flüssigkeiten, die Ursache der Elektricitätsentwickelung beim Reiben nicht liegen, weil dann schon vorher eine Trennung der beiden E stattfinden müßte. In wiefern das Reiben selbst Ursache der Zerlegung sein kann, wird nicht angedeutet. Andere sind wieder der Meinung, daß zwischen diesen Flüssigkeiten und der Materie gar keine Anziehung bestehe. Dies möchte jedoch nicht so ernstlich gemeint sein, namentlich wenn man einen Blick auf den Unterschied der Leiter und Nichtleiter und besonders auch auf die elektrochemischen Erscheinungen wirft.

Die Ansicht von einem einzigen elektrischen Fluidum wird der Symmer'schen Hypothese ohne Zweifel vorzuziehen sein, wenn es ihr gelingen sollte, die mannichfachen elektrischen Erscheinungen in einen durchgreifenden Zusammenhang zu bringen oder sie auf einen gemeinsamen Gesichtspunkt zurückzuführen. Die Franklin'sche Theorie konnte freilich in ihrer bisherigen Gestalt nicht genügen, es kam darauf an, sie weiter auszuführen und zum Theil auch umzubilden, ohne doch das Grundprincip zu verlassen. Die Grundzüge dieser erweiterten Franklin'schen Theorie sind bereits im Vorhergehenden gegeben worden. Anderes wird weiter unten und in den übrigen die Elektricität betreffenden Artikeln seinen Platz finden. Nicht selten trifft man auch die Meinung, daß durch die ganze Natur ein gewisser Dualismus gehe, um dessentwillen auch die Annahme zweier elektrischer Flüssigkeiten naturgemäß erscheine. Dieser Dualismus, wo er sich nicht auf spielende Analogien stützt, will jedoch nichts anderes besagen, als daß zu jeder Anziehung und Abstoßung wenigstens zwei verschiedene Dinge nöthig sind, und in diesem Sinne ist auch die Franklin'sche Theorie dualistisch. Abgesehen von vielem Anderen wollen wir hier noch beiläufig erwähnen, daß die von Neeff gemachte Entdeckung, die wir weiterhin noch besonders hervorheben werden, und nach welcher das elektrische Licht stets auf der Seite des einen, und zwar des sogenannten negativen Pols erscheint, mit der Annahme Eines elektrischen Fluidums vortrefflich harmonirt, dagegen mit der Symmer'schen Ansicht nicht so leicht zu vereinigen ist. Man kann dieser Thatsache nicht etwa die andere entgegenstellen, daß das

Loch, welches der elektrische Schlag in einem Nichtleiter, insbesondere in einem Kartenblatte hervorbringt, auf beiden Seiten einen ausgebogenen Rand habe. Die Elektricität geht durch einen Nichtleiter nicht ganz auf dieselbe Weise hindurch, wie etwa eine Stecknadel durch ein Kartenblatt, die freilich nur da einen ausgebogenen Rand bewirkt, wo sie hervordringt. Wenn das Elektricum von der einen Seite her in einen Nichtleiter eindringt, so findet stets eine Rückwirkung statt von Seiten der elektrischen Sphären, die um die Molecüle dieses Körpers vorhanden sind. Die Elemente des eindringenden E gerathen sowohl untereinander als auch mit jenen Sphären in Repulsion, und hieraus entspringt eben die Rückwirkung, die auf der Seite des Eindringens den ausgebogenen Rand hervorbringt. Diese Ansicht ist eine nothwendige Folge des Grundprincips (siehe auch den Art. Funke, elektrischer), und thatsächlich erscheint das Loch stets so, wie wenn es von der Mitte nach den beiden Außenflächen aufgerissen sei.

Es giebt nun noch eine dritte Ansicht, welche den Versuch gemacht hat, die elektrischen Erscheinungen, ohne Annahme einer substantiellen Grundlage oder eines besonderen Fluidums, auf eine bloße Thätigkeit oder einen eigenthümlich polaren Zustand der ponderabeln Körper zurückzuführen, der, sobald er in einem Theilchen hervorgetreten, sich auf die benachbarten fortpflanzt. Alle elektrischen Erscheinungen sind hiernach bedingt durch die Wirkung angrenzender Körpertheilchen. Diese Ansicht, welche namentlich Faraday näher bestimmt hat, ist dermalen noch weit davon entfernt, selbst von den gewöhnlicheren Erscheinungen der Elektricität eine präcise Erklärung geben zu können, aber immerhin einer weiteren Verfolgung werth, wenn auch die meisten elektrischen Erscheinungen auf ein selbstständiges Etwas hindeuten, das nur als Fluidum aufgefaßt werden kann. Eine nähere Betrachtung derselben wird im Art. Galvanismus vorkommen. Man sehe aber auch den Art. Magnetismus.

Weitere Erörterung der Elektricitätserregung durch Reiben und Betrachtung verschiedener unterscheidender Merkmale zwischen den beiden entgegengesetzten elektrischen Zuständen.

Bei unseren früheren Betrachtungen über die Elektricitätsentwickelung durch Reiben haben wir nur denjenigen elektrischen Zustand in's Auge gefaßt, welcher am geriebenen Körper hervortritt. Nun wird aber nicht allein dieser, sondern auch das Reibzeug und zwar in Beziehung auf jenen entgegengesetzt elektrisch. Verschiedenartige Körper, aneinander gerieben, gerathen allemal in entgegengesetzt elektrische Zustände, die aber erst nach der Trennung dieser Körper frei nach außen wirken. Uebrigens haben wir auch überall, wo zwei verschiedenartige Körper aneinander gerieben werden, eine Störung des elektrischen Gleichgewichts zu erwarten. Schon die verschiedene chemische Natur der Körper muß Unterschiede bewirken, vermöge deren das Elektricum veranlaßt wird, sich mehr in dem einen oder anderen anzuhäufen. Nicht minder wichtig ist hierbei die verschiedene Anordnung hinsichtlich der Lage der Molecüle, die größere oder geringere Dichtigkeit der Körper, was selbstverständlich ist, wenn man sich an die Neigung des E erinnert, die Massentheilchen der Körper sphärenartig einzuhüllen. Selbst die Beschaffenheit der Oberfläche kann nicht ohne Einfluß sein, weil hierdurch die Fähigkeit des Körpers, noch mehr E aufzunehmen oder zu entlassen, vergrößert oder verringert wird. Auch

Körper von sonst gleicher Beschaffenheit können vermöge solcher Unterschiede durchs Reiben entgegengesetzt elektrisch werden. Wenn man z. B. eine polirte Glasscheibe auf einer mattgeschliffenen reibt, so wird die eine positiv, die andere negativ elektrisch. In der Reibung selbst liegt schon ein Grund für die Störung des elektrischen Gleichgewichts, insofern die Bewegung, in welche hierdurch die Körpertheilchen versetzt werden, sich auf die Elemente des Elektricums überträgt. Auch werden die Theilchen verschiedenartiger Körper beim Reiben nicht auf gleiche Weise afficirt werden, was dann auch von den mit ihnen verbundenen Elementen des E gilt. Es lassen sich nun alle Körper in eine Reihe sondern, daß jeder Körper mit jedem nachfolgenden den einen, und mit jedem vorhergehenden gerieben den anderen elektrischen Zustand annimmt, und zwar um so stärker, je weiter beide Glieder in dieser Reihe von einander entfernt sind. Bezeichnet man den elektrischen Zustand des Glases, wenn es mit Wolle gerieben ist, durch +, und den elektrischen Zustand des Harzes oder Siegellacks, wie er durch Reiben mit demselben Stoffe hervortritt, durch —; so wird ein jeder der nachgenannten Körper mit jedem folgenden gerieben positiv und mit jedem vorhergehenden gerieben negativ elektrisch.

Katzenfell, Fuchsschwanz, polirtes Glas, Wolle, Papier, weiße Seide, schwarze Seide, Siegellack, mattgeschliffenes Glas, Colophonium, Bernstein, Schwefel.

Doch bemerkt man bezüglich der Stelle, welche ein Körper in dieser Reihe einnimmt, nicht selten Anomalien, da die zufälligsten Umstände, namentlich Veränderungen in der Beschaffenheit der Oberfläche, Modificationen herbeiführen können.

Die obige Bezeichnung der entgegengesetzt elektrischen Zustände durch + und — ist zwar gebräuchlich, aber ganz willkürlich, so daß man sie füglich umkehren könnte. Auch ist es für die Erklärung einer großen Anzahl von elektrischen Erscheinungen gleichgiltig, welchen der beiden factisch vorhandenen Zustände man als den wahrhaft positiven ansieht. Gleichwohl ist diese Kenntniß in anderer Beziehung, besonders wenn man sich für die Annahme eines einzigen elektrischen Fluidums entscheidet, von großem Interesse. Ist dieses Fluidum nach bestimmten quantitativen Verhältnissen in allen Körpern verbreitet, so unterliegt es keinem Zweifel, daß verschiedenartige Körper, mag die Ungleichartigkeit zwischen ihnen noch so gering sein, durch Reiben in entgegengesetzt elektrische Zustände gerathen müssen. Das Gegentheil würde befremdend sein. Versuchen zufolge nimmt nun der härtere Körper meist denjenigen elektrischen Zustand an, welchen man den positiven nennt. Bei zwei sonst gleich beschaffenen Körpern, deren Temperatur aber ungleich ist, wird bei gegenseitiger Reibung der kältere gewöhnlich positiv, der wärmere negativ elektrisch. Hierauf führt man es zurück, daß zwei Stücke desselben Seidenbandes, wenn man sie kreuzweise aneinander reibt, und zwar so, daß das eine festgehalten, das andere bewegt ist, in entgegengesetzt elektrische Zustände gerathen. Das erstere nämlich, welches ruht, erwärmt sich an der geriebenen Stelle stärker als das andere, das seiner ganzen Länge nach hin und her bewegt wird. Jenes wird negativ, dieses positiv elektrisch. Wenn man zwei übrigens gleichartige Körper, von denen der eine eine glatte, der andere eine rauhe Oberfläche hat, aneinander reibt, so erhält der glatte positive, der rauhe negative Elektricität. Den Einfluß der Farbe erkennt man, wenn man weiße und schwarze

Seide aneinander reibt, die erste wird positiv, die zweite negativ elektrisch. Nach Pfaff soll dieser Einfluß der Farbe durch die Rauheit oder Glätte der Oberfläche bedingt sein, da die weiße Seide durch Eintauchen in eine Galläpfeltinktur mit der schwarzen gleiche Beschaffenheit annehme. Versuche von Coulomb führten zu dem Resultate, daß die beim Reiben sich am meisten ausdehnenden Körper negative Elektricität erhalten. Wollenes Zeug, kalt an einem polirten Metalle gerieben, wird positiv, an einem unpolirten negativ, erwärmt dagegen an beiden stets negativ elektrisch.

Wie durch eine veränderte Beschaffenheit der Oberfläche das gegenseitige elektrische Verhalten zweier Körper modificirt werden kann, geht auch aus Versuchen von W. Heintz *) hervor. Glas mit Seide gerieben wird, wie wir wissen, positiv elektrisch. Erhitzt man aber dasselbe nur kurze Zeit in einer Weingeistflamme, so wird es, mit einem Tuche schwach gerieben, negativ elektrisch. Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn man die Erhitzung durch die Flamme des Aethers, des Kohlenoxydes, des Wasserstoffes und des Phosphors bewirkt. Derartig behandelte Glasstäbe werden selbst nach mehreren Tagen noch durch schwaches Reiben negativ elektrisch. Aehnlich wie die Flamme wirken chemische Agentien. Taucht man einen Glasstab in concentrirte Salpetersäure, Salzsäure oder Schwefelsäure und wäscht man dann die noch anhaftende Säure mit destillirtem Wasser ab, so nimmt er, nachdem derselbe an der Luft getrocknet ist, durch gelindes Reiben mit einem Tuche negative Elektricität an. In allen diesen Fällen reicht aber stärkeres Reiben hin, um den Glasstab wieder in den gewöhnlichen Zustand zu versetzen, in dem er durch Reiben mit Seide oder Wolle positiv elektrisch wird. Aehnlich wie Glas verhalten sich noch verschiedene Mineralien, wie Bergkrystall, Kalkspath, Gyps und Schwerspath. Heintz sieht die Ursache der negativen Elektricität des Glases unter den angeführten Umständen darin, daß die äußerste Oberflächenschicht desselben eine ähnliche Umänderung erleide, wie das Glas, welches in Reaumur'sches Porzellan umgewandelt wird.

Versuche über die Elektricitätserregung, welche beim Reiben von Metallen mit verschiedenen anderen Körpern, wie mit dem Finger, mit Elfenbein, Horn, Kork, Kautschuk, verschiedenen Holzarten und dergleichen entsteht, hat de la Rive **) angestellt. Einige Metalle wurden hierbei positiv, andere negativ elektrisch, manche zeigten aber am Elektrometer bald den einen, bald den anderen elektrischen Zustand. Metalle, welche an Stangen isolirt waren und aneinander gerieben wurden, gaben am Elektrometer keine freie Elektricität zu erkennen: als aber die isolirten Metalle mit den Drahtenden eines Multiplicators (s. d. Art.) verbunden wurden, zeigte die Magnetnadel bei der geringsten Reibung einen elektrischen Strom an, dessen Richtung im Allgemeinen mit der des thermoelektrischen zusammenfiel (s. Thermoelektricität). Auch von Munke ***) sind hierüber Versuche angestellt worden, indem er Metallstäbe von 2 bis 2,5 Zoll Länge und einem quadratischen Durchschnitte von 0,3 Z. Seite in ihrer Mitte winkelrecht auf 10 bis 12 Z. lange Glasstangen oder hölzerne Stäbe auffittete und am einen

*) Poggend. Ann. Bd. LIX. S. 305.
**) Bibl. univ. T. LIX. p. 13. Poggend. Ann. Bd. XXXVII. S. 506.
***) Gehler, N. A. Bd. XI. S. 102.

Ende mit einem zolllangen angelötheten Kupferdrahte versah, um sie durch denselben mit den Enden des Multiplicators zu verbinden. Hierbei ist jeder thermische Einfluß beseitigt, und die Versuche lassen sich auch dahin ausdehnen, daß man eines der Metalle erhitzt. Becquerel *) führt folgende Reihe auf, in welcher jeder folgende Stoff mit dem vorhergehenden gerieben positive Elektricität annimmt. Wismuth, Palladium, Platin, Blei, Zinn, Nickel, Kobalt, Kupfer, Gold, Silber, Iridium, Zink, Eisen, Kadmium, Arsenik, Antimon, Anthracit, Braunstein. Emmet **) giebt nachstehende Reihe, in welcher, wie man sieht, die Metalle in ganz anderer Ordnung auf einander folgen. Wismuth, Nickel, Gold, Platin, Silber, Kupfer, Quecksilber, Blei, Zinn, Eisen, Zink, Arsenik, Antimon. In dieser Reihe soll jedes Metall mit dem nachfolgenden gerieben einen positiven Strom geben, während bei der bloßen Berührung das Umgekehrte stattfinde.

Je größer die Capacität eines Körpers für das Elektricum ist, desto mehr wird er während des Reibens von dem anderen Körper aufnehmen und deshalb in der That positiv elektrisch werden. Nun ist aber zu erwarten, daß bei der Reibung zweier Körper die Elektricität in den rauheren oder wärmeren übergeht, da es wahrscheinlich ist, daß solche Körper am geschicktesten sind, neues E um die Theilchen ihrer Oberfläche anzuhäufen. Dies vorausgesetzt hätten wir die obige willkürliche Bezeichnung durch + und — umzukehren. Der härtere, glättere, kältere Körper würde dann wirklich negativ elektrisch werden. Die Störung des elektrischen Gleichgewichts, welche durch das Reiben zweier Körper hervorgebracht wird, kann eine gewisse Grenze nicht überschreiten, und diese ist erreicht, sobald das auf dem einen Körper angehäufte E eine solche Spannung erlangt hat, daß dieselbe den Kräften, durch welche es aus dem anderen Körper herausgetrieben wird, das Gleichgewicht zu halten vermag.

Um durch das Reiben größere Mengen von Elektricität zu gewinnen, hat man besondere Vorrichtungen, die man Elektrisirmaschinen (s. d. Artikel) nennt. Der geriebene Körper ist hier insgemein eine Scheibe oder ein Cylinder aus Glas, das Reibzeug aber gewöhnlich ein Lederkissen, das mit Amalgam (2 Th. Quecksilber, 1 Th. Zink und 1 Th. Zinn) überzogen ist. Das Elektricum, welches im Glase vorhanden ist, kann darin während des Reibens nicht ruhig verweilen, sondern es muß ins leitende Amalgam, das mit dem Glase in unmittelbarer Berührung ist, und von da in den Boden entweichen, wenn dieser mit jenem in leitender Verbindung steht. Das Glas erleidet also wegen der Aufregung seiner Theilchen durchs Reiben einen Verlust an E oder es wird negativ elektrisch. Nun nähern sich die geriebenen Stellen des Glases einem isolirten Leiter (Conductor), welcher denselben von seinem eigenen E so viel abgiebt, als sie durch das Reiben verloren haben. Während dies geschieht, müssen sich die elektrischen Sphären der Luft, dem Gesetze der Vertheilung gemäß, nach dem Conductor hindrängen, ohne gerade die Lufttheilchen zu verlassen. Weil aber das E des isolirten Conductors sich den geriebenen, negativ elektrischen Stellen des Glases zuwendet und denselben

*) Traité de phys. considerée dans ses rapports avec la chimie. Par. 1842. T. I. p. 392.

**) Silliman amer. Journ. of sc. T. XXV. p. 271 T. XXVI. p. 311.

den Verlust durch Mittheilung ersetzt, so wird der Conductor selbst negativ elektrisch, während das Reibzeug positiv elektrisch wird, da es vom geriebenen Glase fortwährend E empfängt. Wenn dieses jedoch in den Boden übergeht, so verbleibt das Reibzeug allerdings in seinem gewöhnlichen elektrischen Zustande. Anstatt aber die ihm mitgetheilte Elektektricität in den Boden überfließen zu lassen, kann man sie auch auf einem größeren Metallcylinder, der mit dem Reibzeuge in Verbindung steht und gleichfalls Conductor heißt, ansammeln. Dieser Conductor würde dann positiv elektrisch werden, falls er isolirt wäre.

Denken wir uns den umgekehrten Fall, nehmen wir nämlich an, daß für das E des Reibzeugs die Nothwendigkeit vorhanden wäre, während des Reibens in das Glas überzugehen, so würde natürlich der zuletzt erwähnte Conductor negativ, der andere in der Nähe des Glases befindliche dagegen positiv elektrisch werden.

Wird ein Leiter in die Nähe des negativ elektrisirten Conductors gebracht, so muß er diesem, wie es nicht anders sein kann, sein E abgeben. Dabei springt der Funke von ihm auf den Conductor, und nicht umgekeht von dem letzteren auf den ersteren. Befestigt man auf dem Conductor eine metallene Spitze, so strömt in diese das Elektricum der umgebenden Luft in Gestalt eines leuchtenden Feuerbüschels ein, der im Dunkeln leicht wahrzunehmen ist. Nähert man aber dem Conductor eine Metallspitze, die dadurch, daß man sie in der Hand hält, auch mit dem Boden in leitender Verbindung steht; so zeigt sich an derselben ein viel kleinerer Lichtbüschel oder auch wohl nur ein leuchtender Stern, indem aus ihr das E hervorbricht, um nach dem negativ elektrischen Conductor überzugehen. In Wahrheit können nur diejenigen Körper leuchten, welche das E wirklich aussenden, nicht aber die, welche empfangen. An der auf dem Conductor befestigten Spitze erscheint deshalb ein Strahlenbüschel, weil die Lufttheilchen in einer gewissen Entfernung um die Spitze herum ihr Elektricum an diese abgeben; sie selbst, die Lufttheilchen leuchten dann, nicht aber die Spitze, welche das E von jenen empfängt und an der es verschwindet. Eine dem Conductor entgegengehaltene Spitze dagegen entläßt ihr E in Gestalt eines leuchtenden Sterns; hier ist es nur ein Punkt oder doch nur eine geringe Anzahl von Punkten, welche Elektricum nach dem Conductor hin aussenden, dort aber sind es sämmtliche Lufttheilchen in der Nähe der Spitze, welche dieser Elektricum abgeben, also viele leuchtende Punkte, die zusammen die Erscheinung eines Lichtbüschels verursachen.

Diese Lichterscheinungen gewähren ein unterscheidendes Merkmal der beiden elektrischen Zustände. Da das Phänomen an Metallspitzen besonders deutlich hervortritt, so sagen wir: diejenigen Spitzen, welche nur einen leuchtenden Stern oder eine Strahlenkrone zeigen, sind negativ elektrisch, indem sie das E von verschiedenen Seiten her empfangen. Weniger auffallend ist dieser Unterschied bei langen, scharfen Spitzen; diese zeigen in beiden Fällen nur glimmende Pünktchen. Doch kann man die beschriebene Erscheinung sehr wohl mit gewöhnlichen Stecknadeln an der Elektrisirmaschine darstellen. Sehr schöne Strahlenbüschel erhält man nach Löwe *) an einem gebogenen Metalldrahte, dessen beide Enden an dem Conductor einer Elektrisirmaschine befestigt werden (s. Funke, elektrischer). Auf Grund des Vorhergehenden (und anderer noch zu erwähnender Erscheinungen) sehen wir uns veranlaßt, die gewöhnliche Bezeichnung durch + und — umzukehren,

*) Poggend. Ann. Bd. LXXIX. S. 573.

da man denjenigen elektrischen Zustand, welcher auf einer Anhäufung des E in einem Körper beruht und somit der wahrhaft positiv elektrische ist, negativ, und umgekehrt, was bei uns in der That negativ ist, insgemein positiv nennt. Die sogenannte Harzelektricität also, welche erhalten wird, wenn man Harz mit einem Katzenfell, mit Wolle oder Seide reibt, ist die wirklich positive; die Glaselektricität aber, welche durch Reiben des Glases mit Wolle oder Seide hervortritt, betrachten wir als die eigentlich negative. Demgemäß müssen wir auch hinsichtlich der auf Seite 746 aufgestellten Reihe sagen, daß jeder Körper mit einem der nachstehenden gerieben negativ, durch Reiben mit einem jedem vorhergehenden positiv elektrisch werde. Der nach der gewöhnlichen Bezeichnungsweise negativ elektrische Körper ist also nach der unsrigen als der eigentlich positive zu betrachten, und dieser ist es, von welchem das elektrische Licht wirklich ausgeht.

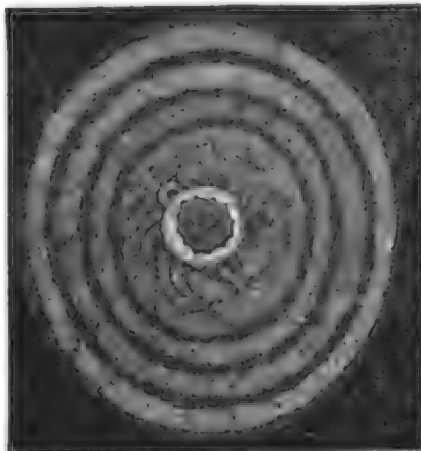
Hiermit im engsten Zusammenhange steht eine zuerst von Neef*) an seinem Inductionsapparate (s. Induction) gemachte Wahrnehmung, die in neuester Zeit durch Moigno**) bestätigt worden ist. An diesem Instrumente ist nämlich die Einrichtung so getroffen, daß der elektrische Strom von einer Platinspitze zu einem Platinblättchen oder umgekehrt von diesem zu jener übergehen muß. Beide, Spitze und Blättchen werden anfänglich miteinander in Berührung gebracht und kommen auch während der Thätigkeit des Apparates nicht weit auseinander. Das elektrische Licht erscheint nun stets auf der Seite des negativen, d. h. auf Seite des für uns wirklich positiven Pols. Geht nämlich der Strom von der Spitze zum Blättchen über, so erscheint nur die erstere vom Licht eingehüllt; hat der Strom die umgekehrte Richtung, so erscheint die Spitze selbst dunkel, indem das Licht auf der Ebene des Blättchens rings um die Spitze hervortritt, um in dieselbe überzugehen. Diese Erscheinung läßt sich mittelst einer Loupe und bei Anwendung eines schwachen Stromes deutlich wahrnehmen. Bei stärkeren Strömen ist sie aus dem Grunde nicht wohl zu beobachten, weil die Spitze vermöge der erzeugten Wärme ins Glühen geräth, wodurch die rein elektrische Lichterscheinung verdeckt wird.

Einen anderen bemerkenswerthen Unterschied der beiden entgegengesetzt elektrischen Zustände zeigen uns die nach Lichtenberg***) benannten Figuren auf dem Harzkuchen. Wird nämlich einer glatten Harzscheibe an irgend einer Stelle sogenannte negative Elektricität mitgetheilt, so bilden sich um diese Stelle strahlenlose Ringe oder Zonen, wenn man sie mit feingepulvertem Colophonium, oder Schwefel, oder Mennige oder auch mit Bärlappsamen bestreut. Diese Erscheinung stellt umstehende Figur I. dar. Theilt man dagegen der Harzscheibe an einer bestimmten Stelle sogenannte positive Elektricität mit, so zeigt das aufgestreute Pulver eine strahlige Figur, wie II. Diese Formverschiedenheiten lassen sich nun im Wesentlichen leicht erklären, wenn man die insgemein als negativ bezeichnete Elektricität für die wirklich positive ansieht. Wenn ein Punkt der Harzscheibe Elektricum von außen empfängt, so kann sich dieses nicht, wie bei einem guten Leiter der Elektricität, von dem Punkte aus gleichförmig verbreiten, sondern es müssen ringsum abwechselnde Verdichtungen und Verdünnungen des E entstehen,

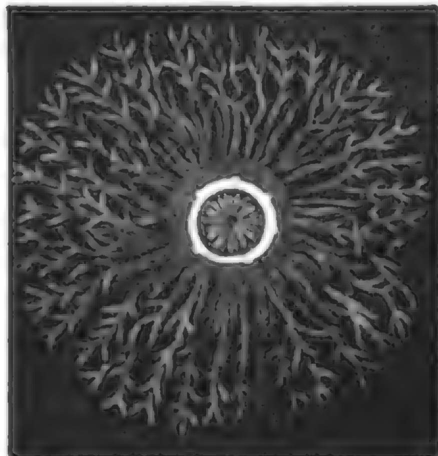
*) Poggend. Ann. Bd. LXVI. S. 414.
**) Compt. rend. T. XXX. p. 359; Poggend. Ann. Bd. LXXXI. S. 318.
***) De nova methodo naturam ac motum fluidi et investigandi. Goetting 1779.

welche durch das aufgestreute Pulver, das selbst eine elektrische Anziehung oder auch Abstoßung erfährt, sichtbar werden. Wird aber eine Stelle der Harzscheibe negativ elektrisirt, d. h. wird dieser Stelle Elektricum entzogen, so muß das dem

I.



II.



Harze inwohnende E in gewissen Radien nach jener Stelle dringen, um daselbst den Verlust zu ersetzen. Die erwähnten Zonen oder Ringe können sich jetzt nicht bilden, weil das E nicht, wie im vorigen Falle auf der Harzscheibe irgendwo angehäuft ist; vielmehr wird das E in solchen Richtungen, in denen der geringste Widerstand stattfindet, herbeizuströmen suchen, um die leere Stelle auszufüllen. Indem nun das E des Harzkuchens in bestimmten Hauptrichtungen nach dieser Stelle hinstrebt, müssen gleichzeitig ähnliche Bewegungen von der Seite her nach jenen Richtungen entstehen, weil eben dadurch, daß das E in den letzteren sich hinweg begiebt oder hinwegzugehen sucht, das E der zwischenliegenden Stellen einen Antrieb erhält, das gestörte elektrische Gleichgewicht wieder herzustellen. Daher die dendritenähnlichen Verästelungen der zweiten Figur. Hiernach werden die dargestellten Figuren um so deutlicher hervortreten, je größer die Geschwindigkeit ist, womit das elektrische Gleichgewicht gestört wird, und je geringer die Leitfähigkeit der isolirenden Scheibe ist. Darum kann auch die Substanz des Harzes nicht gleichgiltig sein für die Entstehung dieser Figuren, weil es eben den besten Isolator darstellt und somit am wenigsten eine überall gleichmäßige Ausbreitung und Wiederherstellung des gestörten elektrischen Gleichgewichtes gestattet.

Zur Darstellung der Figuren eignet sich ein kleines Metallglöckchen, das man auf den Harzkuchen setzt. Auf dasselbe läßt man einen Funken aus dem Conductor der Elektrisirmaschine überschlagen; es erscheint dann beim Aufstreuen des Pulvers die eine oder andere Figur, je nachdem der Conductor positiv oder negativ elektrisch war. Mit einer kleinen geladenen Flasche kann man sie ebenfalls darstellen, indem man die äußere Belegung in die Hand nimmt und den Knopf mit dem Harzkuchen irgendwo berührt. Auch dann tritt, je nachdem die innere Belegung der Flasche positiv oder negativ elektrisch war, die eine oder andere Figur auf. Das Pulver beutelt man gewöhnlich durch Leinwand, wodurch es selbst mehr oder weniger elektrisch wird. So ist pulverförmiges Colophonium stark negativ (im gewöhnlichen Sinne), Bärlappsamen (semen lycopodii) schwach positiv elektrisch. Um eine Figur in ihrer Zusammensetzung deutlich zu erkennen, wendet man immer

ein Gemenge von zwei entgegengesetzt elektrischen Pulvern an, so von **Zinnober** und semen lycopodii, oder noch besser ein Gemenge von Schwefelblumen und Mennige. Im letzteren Falle erscheint Fig. I. roth, Fig. II. gelb. Auch der Tabaksrauch ist zur Darstellung dieser Figuren ein vortreffliches Mittel.

Rieß *) kam durch seine Versuche zu dem Resultate, daß diese Figuren nur bei einer elektrischen Entladung mit Funken und Geräusch, oder bei einer, von ihm sogenannten, discontinuirlichen Entladung entstehen, wie sie in den oben angeführten Fällen der Darstellung auch in der That stattfindet. Wenn die Entladung continuirlich, also leicht- und völlig geräuschlos geschieht, so bildet sich bei längerer Dauer statt der eigentlichen elektrischen Staubfiguren nur eine gewisse Anzahl rundlicher Staubflecke, sowohl bei positiver als bei negativer Elektricität. Auch ist es zur Bildung der Figuren erforderlich, daß der sie erzeugende elektrische Zustand noch auf der Platte vorhanden ist, wenn der Staub aufgestreut wird. Es ergiebt sich dies, wenn man die Platte nach Mittheilung der Elektricität kurze Zeit über eine Spiritusflamme hinführt, ohne sie merklich zu erwärmen. Durch die Flamme wird die mitgetheilte Elektricität vollständig abgeleitet, und es zeigt sich dann beim Bestäuben keine Figur.

Rieß macht noch besonders darauf aufmerksam, daß die gewöhnlich sogenannte positive Figur (s. Fig II.) unter sonst gleichen Umständen einen beträchtlich, und zwar etwa siebenmal größeren Raum als die andere einnehme. — Ueber die durch Elektricität auf verschiedene Weise erzeugten Bilder und manches andere noch hierher Gehörige siehe den Artikel Figuren, elektrische.

Verschiedene Quellen der Elektricität.

Reibung verschiedenartiger Körper ist nicht die einzige Quelle der Elektricität oder vielmehr der Störung des Gleichgewichts des in den Körpern vorhandenen Elektricums. Zu den mechanischen Erregungsmitteln gehören außerdem noch Druck, Stoß, die bloße Berührung ungleichartiger Körper und die Trennung der Theilchen eines und desselben Körpers.

Bei dem Doppelspath genügt ein bloßer Druck zwischen den Fingern, um denselben elektrisch zu machen. Die Elektricitätserregung durch Druck ist namentlich von Becquerel **) genauer untersucht worden. Nach ihm befestigt man die zu untersuchenden Körper in der Form eines Scheibchens vermittelst Schellack an Glasstäbchen, die aber füglich durch Schellackstäbchen ersetzt werden können. Die Versuche zeigten, daß alle Körper, selbst eingedickte Flüssigkeiten, durch Druck elektrisch werden. Die Menge der entwickelten Elektricität wird sowohl durch die Stärke des Druckes als auch durch die Natur, Leitfähigkeit, Temperatur und Beschaffenheit der Oberfläche der zusammengedrückten Körper bestimmt, wie dies zu erwarten ist. Bei demselben Körper ist die Elektricitätserregung der Stärke des Druckes proportional, falls dieser eine gewisse Grenze nicht überschreitet. Um bei guten Leitern die auf diese Weise erregte Elektricität nachzuweisen, kommt es auf eine schnelle Trennung derselben an, weil sonst die entgegengesetzt elektrischen Zustände sich

*) Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 1, 38.
**) Ann. de chim. et phys. T. XXII.

wieder ausgleichen. Veränderungen in der Beschaffenheit der Oberfläche haben meist eine Aenderung der Leitfähigkeit zur Folge. Selbst Theile eines und desselben Körpers, z. B. Korkscheiben, die man durch Zerschneiden Eines Stückes erhält, werden durch Druck entgegengesetzt elektrisch, wenn man die eine erwärmt. In diesem Falle kann das Verhalten beider zur Elektricität nicht mehr dasselbe sein, so daß dieselbe bei gegebener Veranlassung aus der einen Scheibe in die andere theilweise übergehen muß. Indessen werden die Molecüle der Materie und damit auch die Elemente des E durch Druck wohl nicht ganz auf dieselbe Weise wie beim Reiben in Bewegung gesetzt, was auch aus einigen Versuchen von Libes hervorgeht. So wird ein isolirtes Stück Metall, wenn man es an Wachstaffet andrückt, negativ, durch Reiben an demselben aber positiv elektrisch.

Beim heftigen Zusammenstoß zweier Körper ist ebenfalls ein theilweises Freiwerden des E in denselben zu erwarten.

Böttcher *) hat ein Mittel angegeben, um zu entscheiden, ob das beim Aneinanderschlagen zweier Feuersteine und auch noch in anderen Fällen entstehende Licht elektrischer Natur ist oder nicht. Dasselbe stützt sich auf eine Erfahrung Wheatstone's, welche derselbe bei Gelegenheit seiner Versuche über die Geschwindigkeit der Elektricität machte, und die darin besteht, daß Erscheinungen, welche sich während eines einzigen Augenblicks ihrer continuirlichen Action rasch verändern, distinct wahrgenommen werden können, wenn sie durch das Licht einer Elektricität von hoher Spannung beleuchtet werden. Auf dieselbe Weise lassen sich Gegenstände unterscheiden, welche ihre successiven Lagen so rasch verändern, daß man sie unter gewöhnlichen Umständen nicht sehen kann. So können die Zeichnungen auf einer Scheibe, die in sehr rascher Rotation begriffen ist, nicht unterschieden werden, wohl aber, wenn sie durch die Entladung einer Leidner Flasche beleuchtet werden.

Böttcher befestigte nun an der vertical stehenden Axe eines Busolt'schen Kreisels eine in ihrem Mittelpunkte mit einer Oeffnung versehene Pappscheibe welche mit den bekannten 7 Regenbogenfarben bemalt war. Wird der Kreisel auf einer glatten Unterlage in Rotation versetzt, so folgen, wenn die einzelnen Farben nach dem von Newton angegebenen Verhältniß aufgetragen sind, diese so rasch auf einander, daß sie das Auge weder beim grellsten und noch so plötzlich einfallenden Sonnenlichte, noch beim Tageslichte, noch bei dem durch Einwirkung des Knallgasflämmchens auf Kalk erzeugten Lichte von einander unterscheiden kann, vielmehr erscheinen sie demselben als eine mehr oder weniger weiße oder grauweiße Farbe, je nachdem die einzelnen Farben mehr oder weniger rein und hell sind. Ganz dasselbe findet statt, wenn man die Pappscheibe in einem ganz verfinsterten Zimmer in Bewegung setzt und in seiner Nähe mittelst eines gewöhnlichen Feuerstahls einem Feuersteine Funken entlockt, also Stahlpartikelchen durch gewaltsamen Stoß oder durch Reibung zum Glühen bringt. Bringt man aber eine mit zwei Kugeln versehene, sich von selbst entladende, mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine in unmittelbarer Verbindung stehende Leidner Flasche in die Nähe des rotirenden Kreisels, so sieht man beim Ueberspringen des verstärkten elektrischen Funkens, also bei dem jedesmaligen Selbstentladen der Flasche, die rotirende Scheibe vollkommen

*) Poggend. Ann. Bd. XLIII. S. 655.

erleuchtet und statt der Mischfarbe erblickt man jede einzelne Farbe in der größten Deutlichkeit, so wie sie sich, wenn die bemalte Scheibe nicht bewegt wird, dem Auge darstellt. Böttcher schloß nun, daß der Farbenkreisel sich ebenso zu dem durch das Aneinanderschlagen zweier Feuersteine entstehenden Lichte verhalten müsse, falls dasselbe wirklich elektrischer Natur sei. Diese Annahme bestätigte der Versuch, als derselbe in einem durchaus verfinsterten Zimmer angestellt wurde. Es ließ sich dann ganz in der Nähe der rotirenden Scheibe jede einzelne Farbe beim Aneinanderschlagen jener Steine momentan ziemlich deutlich erkennen. Zum Gelingen des Versuches ist nöthig, daß der eine Feuerstein möglichst groß (etwa 3 bis 4 Quadratzoll Seitenfläche) und wenigstens auf der einen, der rotirenden Scheibe zugewandten Seite möglichst glatt oder blank ist, damit das beim Zusammentreffen dieser Fläche mit der scharfen Kante des anderen Steines entstehende, fast immer nur schwache Licht nach der bemalten Scheibe hin reflectirt werde.

Hierher gehören vielleicht auch die Lichterscheinungen, welche in den Polarmeere bemerkt worden sind, wenn zwei größere Eismassen durch Sturm und Wellen gegen einander gestoßen wurden.

Nach einem Versuche von Sellier *) scheint auch in vibrirenden Platten eine Elektricitätsentwickelung stattzufinden. Bestreut man nämlich eine solche Platte mit einem kieselerdigen Pulver, so bleibt dieses auf den Knotenlinien liegen. Das Umgekehrte geschieht, wenn man sehr fein gepulvertes Colophonium anwendet. Alsdann werden die Knotenlinien entblößt und die schwingenden Theile bedecken sich mit dem Harze. Die Knotenlinien sollen hier das Glaspulver anziehen, das sich unter Herumwirbeln daselbst anhäuft. Dieselben Linien entblößen sich beim Kolophon, welches herumwirbelnd sie flieht, während die schwingenden Abtheilungen dasselbe festhalten. Diese letzteren wären darnach positiv und die ersteren negativ elektrisch, falls man sich der gewöhnlichen Bezeichnungsweise bedient. Um diese auf die unsrige zurückzuführen, hat man, wie erwähnt, nur die Worte positiv und negativ mit einander zu vertauschen. Die schwingenden Abtheilungen wären also als negativ, die Ruhe- oder Knotenlinien aber als positiv elektrisch zu betrachten. Es ist auch nicht unwahrscheinlich, daß das Elektricum, welches die schwingenden Theilchen der Scheibe umgiebt, ebenfalls in Bewegung und damit in Repulsion geräth, so daß es in Folge der letzteren nach solchen Stellen der Scheibe entweicht, die sich nicht im schwingenden Zustande befinden, d. h. also nach den sogenannten Knotenlinien. Die letzteren müssen deshalb positive, die tönenden Stellen aber negative Elektricität zeigen.

Wenn die Cohäsion eines Körpers gewaltsam aufgehoben wird, so können sich die Sphären, welche das E um die Molecüle der Körper gebildet hat, gewiß nicht ganz ruhig verhalten; vielmehr ist zu erwarten, daß dasselbe hierbei zum Theil frei wird und die geringsten Verschiedenheiten müssen dann entgegengesetzte elektrische Zustände hervorbringen. Die Elektricitätsentwickelung durch mechanische Trennung gewahrt man namentlich beim Spalten von blätterigen und überhaupt von krystallisirten Mineralien, beim Zerschlagen und Zerspalten fester Körper, wobei man oft einen phosphorescirenden Schein bemerkt. Wenn man z. B. bei einem Glimmerblättchen die Spaltung nur an dem einen Ende vornimmt

*) Compt. rend. T. VI. p. 48; Poggend. Ann. Bd. XLIII. S. 187.

und dann die Blättchen an isolirenden Handgriffen befestigt, so kann man sie vermittelst der letzteren bequem auseinanderreißen. Nach der Trennung zeigt sich dann das eine positiv, das andere negativ elektrisch. Dasselbe zeigen auch noch andere Mineralien, wenn die Trennung nach einem bestimmten Blätterdurchgange geschieht.

Was die durch Berührung heterogener Körper veranlaßte Elektricitätserregung betrifft, so werden wir dieselbe im Artikel Galvanismus ausführlich besprechen.

Veränderungen im Aggregatzustande der Körper scheinen gleichfalls von elektrischen Zuständen begleitet zu sein. Nach Grotthuß *) wird Wasser, welches bei einer niedrigen Temperatur in einem Glase, das außen metallisch belegt ist, oder in einem Blechgefäße schnell gefriert, positiv, dagegen negativ elektrisch, wenn es bei hoher Temperatur durch rasches Schmelzen von Eis erhalten wird. Zerlassene Chocolade, in einem zinnernen Gefäße abgekühlt, verräth ebenfalls merkliche Spuren von Elektricität. Aehnliches zeigt geschmolzener Schwefel und viele andere Stoffe, wie Harz, Gummilack, Pech, doch auffallend erst dann, wenn sie als geschmolzene Massen aus dem metallischen Gefäße ausgegossen werden, woraus Pfaff schließt, daß die hierbei stattfindende Reibung an den Wänden des Gefäßes die Ursache der auftretenden Elektricität sei. Dieser Einwurf trifft jedoch nicht den obigen Versuch von Grotthuß, da Eis mit Glas gerieben einen anderen elektrischen Zustand als den angegebenen erhält.

Pontus hat die Beobachtung gemacht, daß, wenn man Wasser in einem Kölbchen mit 1 bis 2 Centimeter langem Halse, das, wie auch dieser, äußerlich mit Baumwolle bekleidet und mit Aether benetzt ist, unter der Luftpumpe durch schnelles Evacuiren zum Gefrieren bringt, allemal einige Augenblicke vor dem Erstarren ein, selbst bei hellem Tage deutlich sichtbarer Funke aus dem Halse des Kölbchens springt. Die Richtigkeit dieser Angabe hat Julia-Fontenelle bestätigt **). Poggendorff ***) bemerkt hierzu, daß die Lichtentwickelung, die man wohl für elektrischen Ursprungs halten dürfe, offenbar in nächster Beziehung stehe zu derjenigen, welche beim Krystallisiren einiger Salze, namentlich von Wöhler und mehreren Anderen beim Anschießen des schwefelsauren Kalis, von Hermann bei dem des schwefelsauren Kobaltoxyds beobachtet worden sei ****), und die noch glänzender bei Krystallisationen auf trocknem Wege eintrete, z. B. nach Büchner's *****) Erfahrung beim Sublimiren der Benzoësäure.

Daß die Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes mit einer Störung des elektrischen Gleichgewichts verbunden ist, zeigen die elektrischen Erscheinungen des Gewitters. Um aber die während der Dampfbildung auftretende Elektricität nachzuweisen, stellt man gewöhnlich folgenden Versuch an. Auf einen ringförmig gebogenen Draht, der seitwärts an der Condensatorplatte eines Elektrometers befestigt ist, lege man eine Platinschale, erhitze sie bis zum Glühen und gieße

*) Schweigg. Journ. Bd. IX.
**) Journ. de chim. méd. 1833. p. 429.
***) Poggend. Ann. Bd. XXVIII. S. 637.
****) Berzelius Jahresbericht Nr. 4. S. 44 u. Nr. 5 S. 41.
*****) Schweigg. Journ. Bd. XLI. S. 221.

hierauf einige Tropfen Brunnen- oder Flußwasser hinein. Steht nun die obere Condensatorplatte mit der Erde in leitender Verbindung, so sammelt sich in der unteren Condensatorplatte positive Elektricität an. Ist dagegen die Schale unterhalb der unteren Condensatorplatte angebracht, so daß die aufsteigenden Dämpfe dieselbe treffen können, so verräth das Elektrometer negative Elektricität. Da chemisch reines Wasser bei der Verdampfung keine Anzeige von Elektricität giebt, so glaubt man, daß die während der Verdampfung wässeriger Flüssigkeiten erscheinende Elektricität durch die Trennung der Wassertheilchen von den darin enthaltenen Salzen und anderen Stoffen entstehe.

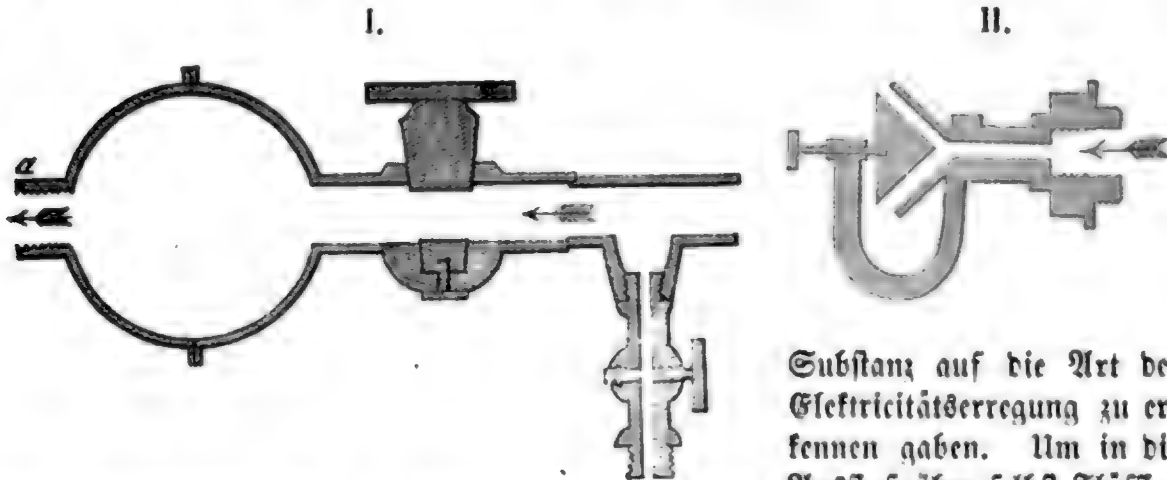
Nach Versuchen von Armstrong *) ist der Dampf, welcher aus dem Sicherheitsventil eines Dampfkessels mit Heftigkeit hervorströmt, positiv, dagegen der Kessel negativ elektrisch, oder nach unserer Bezeichnungsweise umgekehrt der Dampfkessel positiv, der Dampfstrahl aber in Wahrheit negativ elektrisirt. Veranlassung zu Armstrong's Versuchen war ein elektrischer Schlag, den ein Arbeiter erhielt, als derselbe zufällig die eine Hand in den Dampfstrom hielt, welcher aus dem Risse eines Dampfkessels hervorkam, während er mit der anderen Hand das Ventil berührte. Armstrong stellte seine Versuche zum Theil an gewöhnlichen Dampfkesseln und an Locomotiven an, die auf eine isolirende Unterlage gestellt waren und auf welche Glasröhren mit Hähnen eingeschraubt werden konnten. Die Elektricität des Dampfes wächst mit seiner Spannung, aber bei weitem nicht in dem Grade wie die des Kessels. Der elektrische Zustand des letzletzteren tritt im Maximum ein, wenn die Elektricität des Dampfes durch Metallspitzen, gegen die er strömt und welche mit der Erde in Verbindung stehen, gehörig abgeleitet wird. Ueberdies wird die Wirkung verstärkt, wenn der ausströmende Dampf Wassertheilchen mit fortreißt. Die Versuche zeigten aber auch, daß die Elektricitätsentwickelung nur bei Anwendung von schmutzigem Wasser stattfindet. Die außerordentlichen Wirkungen der Elektricität, welche auf diese Weise erregt wurden, gaben Veranlassung zur Construction einer großartigen sogenannten Hydroelektrisirmaschine (s. d. Artikel).

Faraday **) stellte hierüber gleichfalls Versuche an, die zu dem Resultate führten, daß die Ursache der Elektricitätserregung, welche beim Ausströmen des Dampfes aus mehr oder weniger engen Oeffnungen stattfindet, ebenso wenig in der Entwickelung des Dampfes als in seiner Verdichtung zu tropfbarem Wasser liege, sondern lediglich in der Reibung der von ihm fortgeführten Wassertheilchen an den Wänden der Ausströmungsröhren oder an den Körpern, gegen welche er strömt. Derselbe gebrauchte zu diesen Versuchen einen isolirten Dampfkessel, welcher etwa 10 Gallonen Wasser fassen konnte und zur Hälfte damit angefüllt wurde. Auf diesen Kessel ließ sich ein Apparat mit einer Dampfkugel aufschrauben, welche zur Aufnahme von Wasser und anderen Körpern bestimmt war, die dann vom Dampfe fortgerissen durch ihre Reibung Elektricität erregten. An die Dampfkugel wurden

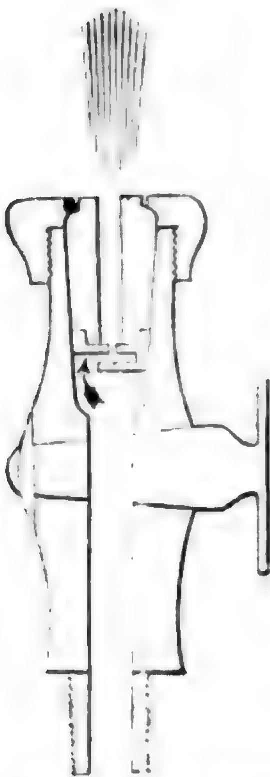
*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. XVII. p. 370. 452. T. XVIII. p. 50. T. XXII. p. 1. T. XXIII. p. 194. Poggend. Ann. Bd. LX. S. 348. Ann. de chim. et phys. III. Sér. T. X. p. 88. L'Instit. XI. Ann. N. 520. p. 435.

**) Experimental researches in electricity. Vol. II.

bei a verschiedene andere Röhren, namentlich eine conische Ausflußröhre (Fig. II.) angeschraubt, welche aus verschiedenen Stoffen bestanden und den Einfluß der



Substanz auf die Art der Elektricitätserregung zu erkennen gaben. Um in die Ausflußröhre selbst Flüssigkeiten verschiedener Art zu bringen, diente beistehende Vorrichtung (Fig. III.), welche mit einer verticalen Glasröhre versehen war. Die meisten Körper nehmen nun, wenn der Dampf sich an ihnen reibt, nach der gewöhnlichen Bezeichnungsweise den negativ elektrischen Zustand an, der jedoch nicht bei allen mit derselben Intensität hervortritt. So wird z. B. Elfenbein auf diese Weise nur äußerst schwach elektrisch. Wenn man in die Dampfkugel oder in die Ausströmungsröhre etwas Terpentinöl bringt, so geräth der meist positive Dampf in den negativ elektrischen Zustand; und dasselbe geschieht auch durch fette Oele, deren Wirkung, weil sie nicht so flüchtig sind, längere Zeit andauert. Der Dampf kehrt nämlich wieder in den positiven Zustand zurück, sobald das flüchtige Oel vollständig verdampft ist. Durch Einbringen geeigneter Flüssigkeiten läßt es sich auch bewirken, daß der Dampf weder positiv noch negativ elektrisch wird, woraus man dann eben geschlossen hat, daß die Elektricitätserregung hier durch das Reiben nicht des Dampfes an sich, sondern der von ihm fortgeführten Flüssigkeitstheilchen stattfinde. So sind es denn auch bei Anwendung von reinem Wasser die vom Dampfe fortgerissenen Wassertheilchen, welche durch ihr Reiben Elektricität entwickeln. Bringt man in die Dampfkugel eine Salzlösung, so wird die Wirkung ganz aufgehoben oder doch sehr herabgesetzt, was man daraus erklärt, daß das nun besser leitende Wasser die Trennung der entgegengesetzt elektrischen Zustände nicht gestatte. — Comprimirte Luft, welche Faraday anstatt des Dampfes ausströmen ließ, entwickelte im vollkommen trocknen Zustande keine Elektricität, wohl aber, wenn sie Feuchtigkeit enthielt, so daß also auch hier die Elektricitätserregung auf fortgerissene und geriebene Wassertheilchen zurückzuführen ist. Auch pulverförmige Körper, welche auf diese Weise fortgerissen wurden, brachten an anderen Körpern Elektricität hervor. So wurden Metalle und Holz durch Schwefelblumen und namentlich auch durch Kieselerde negativ elektrisch, während sich die Kieselerde selbst, von einem isolirten feuchten Brette aufgefangen,



positiv zeigte. Pulverförmiges Gummi und Harz brachten bald positive, bald negative Elektricität hervor. — Die erwähnten Versuche über die Elektricitätsentwickelung vermittelst des verdampfenden Wassers lassen sich übrigens auch ganz bequem an der Hydroelektrisirmaschine anstellen (s. d. Artikel).

Reich *), welcher denselben Gegenstand experimental behandelte, kam zu dem Schlusse, daß die bisherigen Versuche die Elektricitätserregung durch Dampfbildung aus reinem oder andere Substanzen in Auflösung enthaltendem Wasser nachzuweisen nicht vermögen, daß die elektrischen Erscheinungen nur bei tumultuarischer Dampfbildung auftreten und dann immer ihren Grund in einer Reibung zerstäubter Wassertheilchen an den Wänden der Gefäße haben. Zu demselben Resultate gelangte auch Rieß **), der also ebenfalls die Ursache der bei der Verdampfung auftretenden Elektricität in der Reibung von Flüssigkeitstheilchen gegen feste Körper sieht. Derselbe isolirte einen Platinlöffel mit runder Höhlung, die 0,24 Grammen Wasser faßte, und verband ihn durch einen Draht mit dem Stifte eines Behrens-Fechner'schen Elektroskops (s. d. Art.). Unter diesen Löffel rückte er eine Berzelius-Lampe, in gewöhnlicher Weise an einem Arme befestigt, der um einen vertikalen Stab gedreht werden konnte. Nachdem der Löffel zum Weißglühen gebracht und die Lampe durch eine rasche Bewegung fortgeschnellt war, wurde mit einer Pipette eine bestimmte Menge Kochsalzlösung in den Löffel gebracht, die denselben beinahe ausfüllte. Die Flüssigkeit rundete sich ab, rotirte und wurde bei einem gewissen Grade der Abkühlung mit tumultuarischer Verdampfung aus den Löffel geschleudert. Während dieses ganzen Verlaufes kam im Elektroskop keine Elektricität zum Vorschein. Als aber ein Platinblech, das zu einem Cylinder von 17 Linien Höhe, 5 Linien Breite aufgerollt war, auf die Höhlung des Löffels gestellt und der Versuch wiederholt wurde, machte sich bei der gewaltsamen Verdampfung der Flüssigkeit so starke negative Elektricität frei, daß das Goldblatt des Elektroskops an die bezügliche Polplatte anschlug. Dieser Versuch konnte stets mit gleichem Erfolge wiederholt werden, wenn die Platinflächen zuvor von dem ausgeschiedenen Salze befreit waren. Derselbe lehrt, daß in dem früher (S. 755) beschriebenen Versuche von Pouillet nicht die chemische Trennung, welche die Verdampfung begleitet, Ursache der Elektricitätserregung ist, sondern die Reibung der fein zertheilten Flüssigkeit gegen die Tiegelwand, unter der Bedingung, daß die Flüssigkeit über die Wand fortrolle, ohne dieselbe zu benetzen. Bei der allmäligen Verdampfung von zuvor bis zum Sieden erhitztem Wasser hat Rieß niemals eine Elektricitätsentwickelung bemerken können.

Der Verbrennungsproceß wasserstoff- und kohlenstoffhaltiger Substanzen scheint ebenfalls mit einer Störung des elektrischen Gleichgewichts verbunden zu sein. Man erkennt dies, wenn man auf die ringförmige Biegung des mit der Elektrometerplatte in Verbindung stehenden Drahtes eine Platinscheibe legt und auf diese einen Kohlencylinder setzt, dessen oberes horizontales Ende entzündet ist. Berührt man die obere Condensatorplatte ableitend mit dem Finger, so ladet sich die untere Platte mit negativer Elektricität, welche nach Hinwegnahme der oberen

*) Abhandlungen bei Begründung der sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. S. 199.

**) Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 286.

einen Ausschlag am Elektrometer giebt, da dieses mit jener Platte verbunden ist. Mit Hülfe eines Löthrohres kann der Verbrennungsproceß hinreichend belebt werden. Bringt man aber den Kohlencylinder (nicht isolirt) so unter die Platinscheibe, daß dieselbe von der aufsteigenden Kohlensäure getroffen wird, so zeigt das Elektrometer den positiv elektrischen Zustand der Kohlensäure an.

Auf ähnliche Weise läßt sich die Elektricität nachweisen, welche durch die chemische Zersetzung mancher Salze entwickelt wird. Wenn man in ein glühendes Platinschälchen, das auf der erwähnten ringförmigen Biegung liegt und so mit der Elektrometerplatte in Verbindung steht, etwas oxalsaures Silberoxyd bringt, so wird dieses detoniren und das Elektrometer eine negativ elektrische Ladung annehmen. Wird Knallsilber durch concentrirtes Sonnenlicht oder durch Schwefelsäure zum Explodiren gebracht, so erhält man am Elektrometer die Anzeige positiver Elektricität. Nach Schweigger's Versuchen mit verpuffenden Salzen, wobei er sich des Bohnenberger'schen Elektrometers bediente, ändert sich die Elektricität theils nach der Beschaffenheit des detonirenden Salzes, theils nach der Temperatur, in der die Verpuffung geschieht.

Um die bei der Verbrennung des Wasserstoffgases im Sauerstoff entwickelte Elektricität bemerkbar zu machen, ließ Pouillet *) das Wasserstoffgas aus einem Glasrohre hervorströmen, so daß, nachdem es an der Mündung desselben angezündet worden, es eine verticale Flamme von ungefähr 3 Zoll Länge auf 4 bis 5 Linien Breite bildete. Die Elektricität wurde dem Condensator durch einen Platindraht zugeführt, dessen Ende in eine Schraubenlinie aufgerollt war. Die Schraube war vertical, und ihre Umläufe bald so weit, daß sie die Flamme unberührt umhüllten, bald so klein, daß sie von dem Innern der Flamme völlig eingeschlossen wurden. Wurde nun die Flamme dem äußeren Umlaufe der Schraube bis auf 10 Millimeter genähert, so erhielt man Anzeigen von positiver Elektricität, welche zunahmen, so wie man den Abstand verkleinerte. Wenn aber die Flamme den Schraubendraht berührte, wurden die Anzeigen schwach und ungewiß. Dasselbe war der Fall, wenn die Flamme in das Innere der Schraube trat, parallel deren Axe. Es giebt hiernach rings um die Wasserstoffgasflamme eine Atmosphäre von 10 Millimeter Dicke, welche beständig positiv elektrisch ist. Wenn man aber, um die Berührung der äußeren positiven Hülle der Flamme möglichst zu vermeiden, eine Spirale von kleinem Durchmesser in das Innere der Flamme steckte, so daß sie von allen Seiten wohl eingehüllt war, so gab sich negative Elektricität zu erkennen. Das Innere der Flamme befindet sich also mit dem Aeußeren in einem entgegengesetzt elektrischen Zustande. Das negativ elektrische Innere der Flamme ist Wasserstoff, die positiv elektrische Hülle der durch die Verbrennung des letzteren erzeugte Wasserdampf.

Becquerel **) füllte eine mit einer Condensatorplatte in Verbindung stehende Messingschale mit Alkohol, in dem ein baumwollener Docht eingetaucht war, und zwar hindurchgehend durch eine, von einem Korkscheibchen getragene, Glasröhre, um zu verhüten, daß die Flamme die Wände der Schale berührte. Darauf zündete er den Alkohol an. Bald, nachdem die Platten des Condensators

*) Ann. de chim. et phys. T. XXXV. p. 401; Poggend. Ann. Bd. XI. S. 417.
**) Ann. de chim. et phys. T. XXXVI. p. 328; Poggend. Ann. Bd. VI. S. 437 ff.

getrennt waren, sah man, daß der Alkohol einen ziemlich großen Ueberschuß von negativer Elektricität angenommen hatte. Was die positive Elektricität der Flamme selbst betrifft, so bemerkt Becquerel, daß man dieselbe nicht mit einem Platin- oder anderen Metalldrahte aufsuchen dürfe, weil die Temperatur das Leitvermögen desselben dergestalt abändere, daß er nur dem einen elektrischen Zustande den Durchgang gestatten könne. Wenn man die Flamme inwendig oder auswendig mit einem Drahte oder Streifen von Platin berührt, so nimmt der Alkohol sogleich einen Ueberschuß von positiver Elektricität an, während der Draht vermöge seines Glühens, negative Elektricität zeigt. Eine Schraube, von so dünnem Platin gemacht, daß sie noch ins Glühen kommt, wenn man sie dem sichtbaren Theile der Flamme bis auf einige Millimeter nahe bringt, verhält sich auf gleiche Weise. Drähte von Gold, Silber, Kupfer und Eisen, in gleiche Umstände wie der Platindraht versetzt, führen zu ähnlichen Resultaten. Die Elektricität, welche eine Platinspirale annimmt, die in irgend einen Theil einer Flamme des brennenden Wasserstoffs oder Alkohols gesteckt ist, rührt nach Becquerel nicht immer von derjenigen her, welche dieser Theil durch die Verbrennung erhält, sondern wohl mehr von den besonderen Eigenschaften, welche die Metalle beim Eintauchen in die Flamme bei einer gewissen Temperatur erlangen.

Henrici *) führte zwei gleich beschaffene Platindrähte in eine Alkoholflamme, so daß der eine sie mit seinem Ende nur berührte, während der andere ganz in sie eingeschoben war. Sobald diese Drähte mit einem Galvanometer verbunden wurden, gab sich ein elektrischer Strom zu erkennen, welcher von dem durch die Flamme eingehüllten Draht in diese überging. Auch dann zeigte sich ein Strom, als zwei ungleich dicke Platindrähte, ein dickerer und ein sehr feiner, beide gleich tief nebeneinander in die Flamme geschoben und mit den Enden des Galvanometerdrahtes verbunden wurden. Der dickere nahm negative Elektricität an, so daß der Strom von diesem zur Flamme überging. In beiden Fällen war der die Richtung des Stromes bestimmende Draht rothglühend, der andere aber im ersten Falle gar nicht, im zweiten weißglühend, so daß als wirksamer Unterschied bei den Drähten nur die Größe der von der Flamme bestrichenen Oberfläche, mithin nach Henrici als Ursache der Elektricitätsentwickelung nur die stattfindende Reibung zwischen Flamme und Metall angesehen werden kann. Dieselbe Ursache soll auch den elektrischen Strom bewirken, welcher beim gleichzeitigen Eintauchen eines glühenden und eines kalten Platindrahtes in irgend eine leitende Flüssigkeit zum Vorschein kommt. Die Erhitzung geschah in einer Flamme von gutem Alkohol. Beide Drähte wurden vor jedem Versuche sorgfältig gereinigt, und auch der kalt einzusenkende zuvor stark geglüht und vor jedem Versuche nach vorheriger Reinigung einige mal durch die Flamme gezogen. Es geschah dies, um beiden Drähten außer der Temperaturdifferenz eine möglichst gleiche Beschaffenheit zu geben. Hieran reihen sich, ebenfalls von Henrici **) angestellte Versuche über die Wirkung siedender Flüssigkeiten auf einen von ihnen getroffenen Platindraht. Eine $1^1/_2$ Centimer weite Glasröhre war seitlich mit zwei Armen versehen, in deren jedem ein Platindraht von etwa 1 Millimeter Dicke vermittelst kleiner Korkstücke so eingefügt wurde, daß

*) Poggend. Ann. Bd. LXXIX. S. 476.
**) Poggend. Ann. Bd. LXXIX. S. 473.

er beliebig in die weitere Röhre eingeschoben und aus derselben zurückgezogen werden konnte. Wenn nun während des Siedens der in der Röhre befindlichen Flüssigkeit der eine Platindraht in die weitere Röhre eingeschoben, der andere daraus zurückgezogen war, so gab das Galvanometer, sobald es mit beiden Drähten in Verbindung gesetzt wurde, einen elektrischen Strom zu erkennen, und zwar zeigte sich der von der Bewegung der siedenden Flüssigkeit getroffene Draht bei einigen Flüssigkeiten positiv bei anderen negativ.

Ueber den elektrischen Strom der Flamme insbesondere der Alkoholflamme hat in neuester Zeit auch Hankel *) genauere Untersuchungen angestellt (siehe Galvanismus).

Nach Pouillet **) soll auch der Vegetationsproceß von einer Elektricitätsentwickelung begleitet sein. Derselbe brachte isolirte Gefäße, in denen er verschiedene Pflanzen aufkeimen und wachsen ließ, mit der oberen Platte eines Condensators und die untere Platte des letzteren mit der Erde in leitende Verbindung. Als nun die Keime aus der Erde (innerhalb der Gefäße) hervorkamen und anfingen, ihre Spitzen zu erheben, nahm die mit ihnen in leitender Verbindung stehende Condensatorplatte eine negativ elektrische Ladung an, was sich nach einigen Stunden wiederholte, wenn der Apparat in den gewöhnlichen Zustand zurückgeführt wurde. Dieselbe Erscheinung trat während der Nacht ein, und erforderte nur um deutlich erkannt zu werden, Trockenheit der umgebenden Luft. Pouillet leitet diese Elektricitätsentwickelung von einer Einwirkung der Pflanzen auf die Luft her, so daß die Pflanzen negativ, die entweichenden Gase positiv elektrisch würden, ein Verhältniß, das ebenso bei der Verbrennung kohlen- und wasserstoffhaltiger Substanzen eintrete, wo auch die entwickelten Gase in den positiv elektrischen Zustand gerathen. Rieß ***), welcher diese Versuche wiederholte, konnte keine Elektricitätserregung durch den Vegetationsproceß entdecken. Dieser Physiker füllte eine gehörig isolirte Messingschale oder eine Porcellanwanne mit Gartenerde, die feucht gehalten und durch einen Messingdraht mit der messingenen Collectorplatte eines Condensators von 6 Zoll Durchmesser in Verbindung gesetzt wurde. Die abgehobene Collector- oder Condensatorplatte wurde an einem Säulenelektroskope geprüft. Vom März bis zum August 1844 ließ er 11mal Gartenkresse (lepidium sativum) in der Erde keimen, und untersuchte den Condensator täglich, bis die Kresse die Höhe von 2 Zoll erreicht hatte. Häufig fanden sich Spuren von Elektricität im Condensator, aber nicht von constanter Art. Einige Controlversuche mit unbesäeter Erde machten es sehr wahrscheinlich, daß jene elektrischen Spuren nicht von der Vegetation herrührten. Schließlich macht Rieß noch die Bemerkung, seine Schlüsse wären nicht gegen die Meinung gerichtet, daß Verdampfung und Vegetationsproceß Ursachen der Luftelektricität seien, vielmehr sollten sie nur darauf aufmerksam machen, daß eine sichere experimentelle Begründung dieser Meinung fehle.

Becquerel ****) und Wartmann *****) haben nun in neuester Zeit

---

*) Poggend. Ann. Bd. LXXXI. S. 213.

**) Ann. de chim. et phys. T. XXXV. p. 401; Poggend. Ann. Bd. XI. S. 417. 430.

***) Poggend. Ann. Bd. LXIX. S. 288.

****) Compt. rend. T. XXXI. p. 633; L'Institut. 1850. p. 353; Ann. de chim et phys. III. Ser. T. XXXI. p. 40.

*****) Arch. des sciences physiques et naturelles. Genève. T. XV. p. 301.

durch Versuche am Galvanometer zu zeigen gesucht, daß es in lebenden Pflanzen an elektrischen Strömen nicht fehle, die im Innern der Pflanzen geschlossene Kreise bilden, und deren Stärke nach Wartmann von dem Saftreichthum abhängig ist (s. Galvanismus).

Der menschliche, wie der thierische Körper überhaupt scheint sich unter gewöhnlichen Umständen elektrisch neutral zu verhalten, so daß er wie jeder andere Leiter zur Ableitung der auf der Oberfläche eines Körpers freien Elektricität benutzt werden kann und auch in der That dazu benutzt wird. Das ihm eigenthümliche und im Gleichgewicht mit sich selbst und der Umgebung befindliche Electricum erleidet dann unter dem Einflusse eines elektrisirten Körpers dieselbe Vertheilung wie das E aller übrigen Leiter. Wenn man indessen bedenkt, daß im thierischen Organismus eine fortwährende Berührung ungleichartiger Stoffe stattfindet, so erscheint die Existenz elektrischer Ströme in demselben sehr wahrscheinlich, und es sind auch darüber bereits die mannigfachsten Versuche angestellt worden, die in einem besonderen Artikel (s. Thierelektricität) ausführlich besprochen werden sollen. Ueberdies hat Dubois-Reymond*) durch Versuche gezeigt, daß bloße Muskelanstrengungen von elektrischen Strömen begleitet sind. Zwei Gefäße werden mit Salzwasser gefüllt und in dasselbe Platinstreifen von durchaus gleicher Beschaffenheit getaucht, die man mit den Drahtenden eines sehr empfindlichen Galvanometers verbindet. Wenn man dann einen Finger der einen Hand in das eine, den gleichnamigen Finger der zweiten Hand in das andere Gefäß taucht, und den einen Arm möglichst stark und nachhaltig anspannt, so giebt die Nadel einen Strom zu erkennen, der von der Hand gegen die Schulter gerichtet ist. Je nachdem nun die Muskeln des einen oder anderen Armes angespannt worden, geschieht die Ablenkung der Magnetnadel in dem einen oder anderen Sinne. Am besten gelingt der Versuch **), wenn eine größere Anzahl von Personen sich mit befeuchteten Händen zu einer Kette verbindet, und die Personen, welche Endglieder derselben bilden, einen Finger der freien Hand in die Gefäße mit Salzwasser tauchen, worauf dann alle gleichzeitig den rechten oder gleichzeitig den linken Arm anspannen.

Ein sehr bedeutsames Erregungsmittel der Elektricität ist ferner die Wärme. So nehmen viele Krystalle, die zu den unsymmetrischen gehören, durch Veränderung ihrer Temperatur an verschiedenen Stellen ihrer Oberfläche entgegengesetzt elektrische Zustände an (s. Pyroelektricität). Aber auch in verschiedenartigen Metallen, die sich berühren, wird das elektrische Gleichgewicht durch die Wärme aufgehoben, so daß ein elektrischer Strom entsteht, wenn man zwei ungleichartige Metallstäbe so zusammenlöthet, daß sie eine geschlossene Kette bilden, und dann die eine Löthstelle erwärmt (s. Thermoelektricität).

Daß die Elektricität selbst, wenn sie an einem Körper frei hervorgetreten ist, in einem benachbarten Leiter das elektrische Gleichgewicht stört, ist bereits ausführlich auseinandergesetzt worden. Dort wurde indessen die Elektricität mehr im

*) Poggend. Ann. Bd. LXXV. S. 463; Untersuchungen über thierische Elektricität. Berlin 1848 u. 1849.

**) Annalen der Chemie und Pharmacie. Bd. LXX. S. 366; Phil. Mag. III. Ser. T. XXXV. p. 288; Instit. 1850. T. XLVIII.; Liebig's und Kopp's Jahresbericht. 1849. S. 217.

Zustande der Ruhe oder nach ihren statischen Verhältnissen betrachtet. Bei der Ausgleichung entgegengesetzt elelektrischer Zustände geräth sie aber in Bewegung, und wenn diese in einem geschlossenen Leiter statt hat, so bringt sie in einem benachbarten geschlossenen Leiter ebenfalls einen elektrischen Strom hervor (siehe Induction, elektrische).

Dann ist auch noch der Magnetismus ein sehr wirksames Mittel, um das elektrische Gleichgewicht in anderen Körpern aufzuheben. Fast jede Bewegung eines Magneten gegen einen geschlossenen Leiter bewirkt in diesem einen elektrischen Strom. Diese Art der Elektricitätserregung steht mit der durch bewegtes E oder durch einen sogenannten elektrischen Strom bewirkten in naher Beziehung und wird deshalb gleichfalls im Artikel Induction zur Sprache kommen.

Wirkungen der Elektricität.

Die Elektricität bringt mechanische, physiologische, magnetische, chemische, Licht- und Wärme-Effecte hervor, wovon noch, zum Theil in besonderen Artikeln, die Rede sein wird. Schlechte Leiter der Elektricität werden von dem elektrischen Schlage durchbohrt, zerrissen und umhergeworfen. Diese Erscheinungen zeigen sich zwar am auffallendsten beim Blitze (s. Gewitter), sie lassen sich aber auch mit Hülfe einfacher elektrischer Apparate zur Wahrnehmung bringen (s. Auslader und Flasche, elektrische).

Wenn dem menschlichen Körper ein elektrischer Funke entzogen oder mitgetheilt wird, so entsteht die Empfindung eines stechenden Schmerzes oder Stoßes. Stärkere elektrische Schläge bewirken bedeutende Muskelcontractionen und diesen entsprechende Zuckungen der Glieder. Auf der Zunge bringt die Elektricität eine eigenthümliche Geschmacks- und im Auge eine Licht-Empfindung hervor, worüber das Weitere im Artikel Galvanismus nachzusehen ist. Auch verbreitet sie in vielen Fällen einen sehr auffallenden Geruch nach Ozon (s. d. Art.), der dem der salpetrigen Säure ähnlich ist. Die Gesetze der durch Elektricität erzeugten Wärmeerscheinungen werden im Artikel Wärme und die elektrischen Lichtphänomene, von denen schon mehreres im Vorhergehenden angeführt ist, im Artikel Funke, elektrischer, erörtert werden.

Die Elektricität wirkt im Allgemeinen als sogenanntes Reizmittel auf das Gefäß- und Nervensystem, und man hat sie auch schon lange *) als Heilmittel gegen verschiedene Krankheiten mit mehr oder weniger Erfolg benutzt. Dahin rechnet man namentlich Lähmungen und Contracturen der Muskeln, Lähmungen der Sinnesnerven (schwarzer Staar, Taubheit), Krämpfe und Convulsionen, chronische Rheumatismen, kalte Geschwülste (scrophulöse Anschwellungen der Drüsen) ꝛc. Auch soll der Bandwurm durch elektrische Schläge, welche quer durch den Unterleib zu führen sind, dergestalt gelähmt werden, daß er durch Abführungsmittel bald hinweggeschafft werden kann. Zur Wiedererweckung Scheintodter, namentlich Ertrunkener und vom Blitze Getroffener, ist die Elektricität gleichfalls

*) Geschichte der medicinischen und physikalischen Elektricität und der neuesten Versuche in dieser Wissenschaft. Leipzig 1785. 2 Thle.; Cavallo, Essay on the theory and practice of medical electricity. London 1780.

mit Erfolg verwendet worden. Es werden hierbei gelinde elektrische Schläge durch die Gegend des Herzens und Zwerchfells geleitet. Bei eigentlich entzündlichen Krankheiten ist ihr Gebrauch untersagt. Auch ist es Vorschrift, daß man stets mit den gelindesten Einwirkungen anfängt, und erst von diesen zu stärkeren fortschreitet. Die Art und Weise der Anwendung soll bei Betrachtung der einzelnen elektrischen Apparate, welche man bisher in dieser Beziehung benutzt hat, angeführt werden. Früher gebrauchte man fast ausschließlich die Elektrisirmaschine und Leidner Flasche, jetzt dagegen vorzugsweise die sogenannten Inductionsapparate.

Historischer Ueberblick.

Schon die Alten hatten, worauf selbst der Name Elektricität hindeutet, einige Kenntnisse von den elektrischen Erscheinungen, doch scheint sich dieselbe, wenigstens bei den Griechen und Römern, auf die von der eigentlichen Anziehung kleiner Körper durch den Bernstein und einige wenige andere Körper beschränkt zu haben. Erst im Jahre 1600 fügte W. Gilbert *) zu den bekannten noch andere Körper hinzu, welche wie der Bernstein sich verhalten, namentlich das Glas, die meisten Edelsteine, den Schwefel und das Siegellack. Gilbert machte indessen keinen Unterschied zwischen elektrischen und magnetischen Eigenschaften. Die nächsten ausgedehnteren Versuche wurden von Otto v. Guericke **) angestellt. In geringerem Grade zog die Elektricität die Aufmerksamkeit Newton's ***) auf sich, obschon er einige elektrische Versuche machte. Das elektrische Leuchten, zunächst des Bernsteins und der elektrische Funke, der sich zeigt, wenn man einem stark elektrischen Stücke Bernstein den Finger nähert, wurde zuerst von Wall ****) beobachtet, der ihn auch schon mit dem Blitze und das dabei wahrgenommene Knistern mit dem Donner verglich. Das Geräusch der elektrischen Ausströmung und das Gefühl wie von Spinneweben, welches die Annäherung eines elektrisirten Körpers verursacht, wurden zuerst von Hawkesbee *****) bemerkt. Derselbe machte auch auf den Vorzug des Glases hinsichtlich der elektrischen Kraft vor anderen Körpern aufmerksam, und beobachtete die Erscheinungen der Elektricität im luftleeren Raume. Die nächsten auf Gestaltung der Elektricitätslehre einflußreichen Beobachtungen, namentlich in Bezug auf Leiter und Nichtleiter, machte Grey 1728 bis 1731. Er bemerkte auch, daß die Elektricität aus Spitzen (im Dunkeln) in der Gestalt feuriger Lichtbüschel ausströme. Du Fay †) dehnte Grey's Versuche noch weiter aus, und gab nähere Bestimmungen über die Mittheilung der Elektricität; auch zog er Funken aus dem menschlichen Körper. Desagulier drückte in einer 1742 gekrönten Preisschrift die bisherigen Beobachtungen in Form allgemeiner Gesetze der Elektricität aus.

Nun begannen auch die deutschen Physiker sich mit der Elektricität genauer zu beschäftigen: Hausen in Leipzig, Bose in Wittenberg, Winkler in Leipzig,

---

*) De magnete. Lond. 1600.
**) Experim. Magdeb. de vacuo spatio. Amsterd. 1672.
***) Philosophical-Transactions. 1675.
****) Phil. Transact. 1708. T. XXVI. N. 314.
*****) Physico-mechanical experiments. Lond. 1709.
†) Mém. de Paris. 1733—37.

Gordan in Erfurt, Ludolf in Berlin, Gralath in Danzig u. A. Dieselben entzündeten verschiedene brennbare Substanzen durch den elektrischen Funken, und Ludolf der Jüngere (in Berlin) bewies, daß das Leuchten des Barometers elektrischer Natur sei. Durch Watson wurden diese Entdeckungen auch in England bekannt.

Im Jahre 1745 entdeckte Kleist die Leidner Flasche und deren Erstaunen erregende Wirkungen, wodurch besonders die Aufmerksamkeit der Physiker auf die Elektricität geleitet wurde. Nollet beobachtete den Einfluß der elektrischen Wirkungsweise, aber nicht, daß die durch Vertheilung hervorgerufene Elektricität die entgegengesetzte der dieselbe hervorrufenden sei, indem er überhaupt keine Rücksicht auf den Gegensatz von positiver und negativer Elektricität nahm.

Von dem wichtigsten Einflusse auf die Elektricitätslehre waren aber die geistreichen Forschungen Franklin's *) in Philadelphia, der zugleich der Urheber der oben entwickelten nach ihm bekannten Theorie war, in welcher die wichtigsten elektrischen Erscheinungen in Form allgemeiner Gesetze der Elektricität ausgesprochen sind. Franklin war es auch, welcher zuerst auf das Bestimmteste die Identität des elektrischen Funkens mit dem Blitze, in sofern beide gleichartige elektrische Erscheinungen sind, nachwies. Vergl. d. Art. Drache, elektrischer und Gewitter. Von Wichtigkeit für die Erkenntniß des elektrischen Gegensatzes war Cantons Bemerkung vom Jahre 1753, daß es nur von der Glätte der Oberfläche und vom Reibzeuge abhänge, das Glas und andere Körper entweder positiv oder negativ zu elektrisiren. Derselbe beobachtete auch genauer den Einfluß der elektrischen Atmosphäre oder Wirkungskreise, deren Gesetz zuerst von Wilke **) ausgesprochen wurde. Versuche über die Elektricität geriebener seidener Bänder und Strümpfe waren die Veranlassung, daß Symmer und nach ihm die meisten Physiker von zwei Elektricitäten redeten. Daher man diese Physiker, zum Unterschied von den Anhängern der Franklin'schen Ansicht (Unitarier genannt, weil sie nur Ein elektrisches Fluidum anerkennen) Dualisten nannte.

Volta's Erfindungen des Elektrophor (1775) und des Condensator (1783), so wie Coulomb's Erfindung der Drehwage und ihre Anwendung zu messenden Versuchen über Elektricität gaben der Elektricitätslehre neue Erweiterungen und machten mathematische Bestimmungen in ihr möglich, wie sie zuerst von Biot ***) und Poisson gegeben worden sind. Die chemischen Wirkungen der Elektricität zeigte zuerst van Marum ****) mit Hülfe der großen Teyler'schen Elektrisirmaschine; aber erst die Entdeckung des Galvanismus (s. d. Art.) führte in dieser Hinsicht zu umfassenden und sorgfältigen Beobachtungen. Die von Volta erfundene Säule, die Entdeckung des Elektromagnetismus (s. d. Art.) der Thermoelektricität (s. d. Art.) und endlich Faraday's und Anderer neueste Entdeckungen haben das Gebiet der Elektricitätslehre ver-

*) Franklins new exper. and. observ. on electricity in several letters to Mr. Collinson. Lond. 1717; Franklin's Briefe von der Elektricität, übersetzt von Wilke. Leipzig 1758.

**) De electricitatibus contrariis. Rostockii 1757.

***) Traité de physique mathématique et experimentale. Tom. II. Livre III. de l'Electricité p. 209. sqq.

****) Eerste Vervolg Proefneemingen gedaan met Teylers Electrizeermaschine. Haarlem 1787; Tweede Vervolg etc. Haarl. 1795.

gestalt erweitert, daß immer mehr das Bedürfniß sich herausstellt, dem inneren Zusammenhange der hierher gehörigen Erscheinungen sowohl untereinander als auch mit anderen Naturerscheinungen nachzuspüren *).

Elektricitätssammler, s. Condensator.

Elektricitätsverdoppler, s. Duplicator.

Elektricitätsträger, s. Elektrophor.

Elektricitätszeiger, s. Elektrometer.

Elektrisirmaschine ist ein Apparat, um durch das Reiben verschiedenartiger Körper größere Mengen von Elektricität zu erregen und diese anderen Körpern mitzutheilen. Sie besteht im Wesentlichen aus einem Isolator oder Nichtleiter der Elektricität, der an einem anderen Körper, dem Reibzeuge gerieben wird, und aus einem oder mehreren isolirten Leitern, Conductoren, welche zur Aufnahme der durchs Reiben erzeugten Elektricität dienen. Nach der Form des zu reibenden Körpers unterscheidet man Cylindermaschinen und Scheibenmaschinen.

Die Cylindermaschine besitzt einen hohlen Cylinder aus hartem, weißem, reinem, wenig Kali haltigem Glase, der gewöhnlich eine Länge von 8 bis 24 Zoll und einen Durchmesser von 4 bis 12 Zoll hat. Die Oberfläche desselben muß möglichst gleichmäßig sein, damit das Reibzeug sich genau an ihn anschießen kann. An seinen Enden befinden sich Halsstücke, welche in Kappen aus sehr trocknem und im Oel getränktem Holze oder aus Messing festsitzen, und die möglichst concentrisch um die geometrische Axe des Cylinders liegen müssen. Die Kappen sind mit nach außen gehenden eisernen, möglichst festsitzenden Zapfen versehen, die wenigstens $1/_2$ Zoll Dicke haben und genau mit der geometrischen Axe des Cylinders zusammenfallen müssen, damit die Bewegung des letzteren und damit auch die Reibung am Reibzeuge gleichförmig von Statten gehe. Auch pflegt man wohl die Kappen noch mit Lack zu überziehen, um sie vollständiger zu isoliren und dadurch zu bewirken, daß sie die auf der Oberfläche des Glases entwickelte Elektricität nicht abführen. Um das Beschlagen des Cylinders mit Feuchtigkeit im Innern zu verhindern, und wohl auch, um bei schlechtem Glase die Wirksamkeit zu erhöhen, wird mitunter die Innenseite des Cylinders noch mit einem Ueberzuge von Lack oder Bernsteinfirniß versehen. Die Harzmasse bringt man in der Form kleiner Stückchen in den Cylinder, den man über einem gelinden Kohlenfeuer fortwährend umdreht. Dem Bernsteinfirniß kann man durch sorfältiges Zusammenreiben mit Zinnober eine rothe Färbung geben und ihn dann, mit etwas Kienöl verdünnt, in den Cylinder gießen, den man wie im vorigen Falle über einem Kohlenfeuer umdreht, wobei sich der Firniß auf der Innenseite ausbreitet. Um der im Innern des Cylinders erwärmten und ausgedehnten Luft einen Ausweg zu verschaffen, muß eine der an den Cylinderhälsen befindlichen Kappen eine Oeffnung haben, die man beizubehalten pflegt, weil auch beim Gebrauche der Maschine eine Erhitzung und Ausdehnung der eingeschlossenen Luft und dadurch unter Umständen ein Platzen des Cylinders veranlaßt werden kann. Pfaff theilt ein Verfahren

*) Eine übersichtliche Zusammenstellung der Elektricitätslehre giebt Rieß im Dove'schen Repertorium der Physik. Bd. II. S. 1. Berlin 1838.

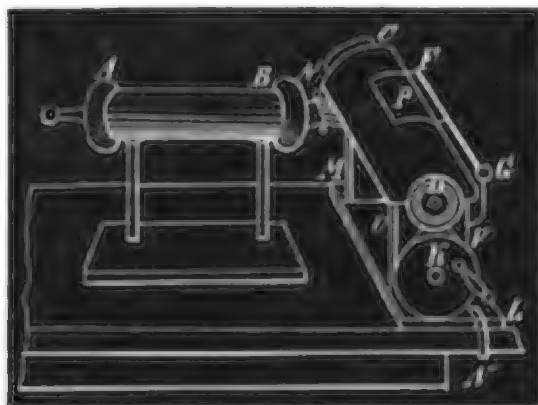
von Muncke mit, nach welchem im Cylinder vorher erwärmte, also verdünnte Luft hermetisch abgeschlossen und der Harzüberzug, wie auch die Oeffnung in einer der Kappen weggelassen wird. Der an einem oder an beiden Enden offene Cylinder wird an einem warmen Stubenofen bei sehr trockner Luft allmälig und anhaltend erwärmt, und mit hineingebrachten heißen Handtüchern mehrmals ausgeschwenkt. Dann wird über die Oeffnung der Zapfen oder Cylinderhälse ein geeignetes seidenes Läppchen ausgebreitet, und ein passender Kork so in die Oeffnung hineingedrückt, daß ihn das seidene Läppchen überall umgiebt. Was vom Korke übersteht, wird abgeschnitten und der Zapfen mit erweichtem Siegellack oder Elektrophormasse hermetisch verschlossen, wodurch aller Feuchtigkeit der Zutritt in das Innere des mit etwas erwärmter Luft erfüllten Cylinders abgeschnitten ist. Hierauf werden ausgehöhlte Korkstücke auf die Zapfen gepaßt und mit Hausenblase oder Schreinerleim festgeleimt, deren genaues Anschließen an die Wandungen des Glases da, wo die Zapfen angesetzt sind, durch hineingeleimte Keile oder Stücke von Holz bewerkstelligt werden kann. Diese Korkstücke werden dann mit einer Raspel sorgfältig so geformt, daß nach gleichfalls aufgeleimten hölzernen Kappen mit den eisernen Zapfen der Cylinder möglichst concentrisch umläuft, wobei man zu stark weggenommene Stellen des Korkes durch aufgeleimte Stücke Leinwand wieder erhöhen kann.

Das Reibzeug besteht gewöhnlich aus einem mit Roßhaaren ausgestopften seidenen Kissen, das mit einem Stück dünnen Kalbleder überzogen ist. Doch pflegt man das letztere auch in vielen Fällen auf einem Messingstreifen oder auf eine mit Stanniol überzogene Holzplatte zu spannen. In das Leder wird dann, um ihm eine gehörig leitende Oberfläche zu geben, Amalgam und zwar das sogenannte Kienmayer'sche Amalgam eingerieben, welches aus 2 Theilen Quecksilber, 1 Th. Zinn und 1 Th. Zink zusammengesetzt und dessen Bereitungsweise im Artikel Amalgam behandelt ist. Man pflegt das Amalgam in Pulverform mit Schweinefett zu einem Teige zu verarbeiten und mit Hülfe eines Lederstückes auf auf das Leder des Reibzeuges aufzutragen, bis die ganze Oberfläche desselben einen gleichförmig metallischen Glanz zeigt. Nach Baumgartner kann man statt des Schweinefettes auch zweckmäßig Baumöl benutzen, indem man einen Tropfen davon auf das Leder des Reibzeuges bringt und denselben so ausbreitet, daß die ganze Lederfläche einen schwachen Fettüberzug erhält. Hierauf reibt man vermittelst eines gleichfalls befetteten Lederstückes, das man in das gepulverte Amalgam bringt, das letztere ein. Das Reibkissen ist an eine feste Rückwand, die aus einer metallenen Platte oder aus einer mit Stanniol überzogenen Holzplatte besteht, befestigt, und wird durch Federn an den Cylinder angedrückt, damit es sich diesem während dessen Umdrehung mit seiner ganzen Oberfläche und mit möglichst gleichförmigem Drucke anschmiege. Denn wo keine Berührung zwischen Cylinder und Reibzeuge stattfindet, kann auch keine Elektricität entwickelt werden, wozu noch kommt, daß an solchen Stellen Gelegenheit zur Ausgleichung der entgegengesetzten elektrischen Zustände des Glases und Reibzeuges gegeben wird.

Der Conductor ist meist ein cylinderförmiger, nach allen Seiten wohlabgerundeter, aus Metallblech verfertigter Körper, welcher auf einem Fuße oder auf zwei Füßen von Glas steht, und auf der dem Cylinder zugekehrten Seite gewöhnlich mit einigen Spitzen versehen ist. Mit einem solchen Conductor kann man noch einen zweiten größeren, ebenfalls isolirten Leiter in Verbindung setzen, den

man auch aus einem wohlfeileren Stoffe, z. B. aus mit Stanniol überzogenem Holz oder Pappe, zu machen pflegt. Um die elektrischen Funken zu verstärken, wird mitunter auch noch ein starker, spiralförmig gewundener Draht, der in Kugeln endigt und an seidenen Schnüren aufgehangen ist, mit dem Conductor verbunden. Es versteht sich von selbst, daß das Gestelle der Elektrisirmaschine der im Reibzeuge und Cylinder entwickelten Elektricität keine Ableitung bieten darf. Darum muß es aus Holz verfertigt sein, das sehr stark ausgetrocknet, in Oel gekocht und überdies noch mit Bernsteinfirniß überzogen ist.

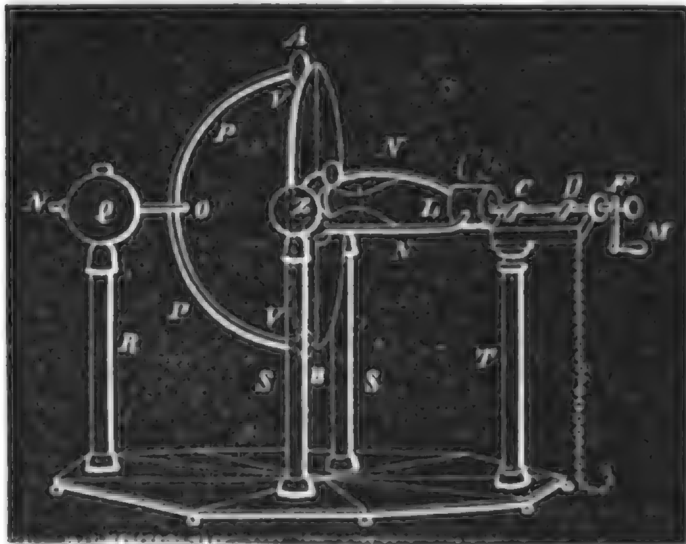
Nachstehende Figur stellt eine Cylindermaschine vor. Die messingenen Hauben, in welche die Hälse des Glascylinders C D eingekittet sind, laufen in stählerne Zapfen aus, welche in der geometrischen Axe des Cylinders liegen und mittelst deren der letztere in Lagern ruht, die in den beiden hölzernen Säulen M und O befindlich sind. Diese Säulen sind in das Brett L befestigt. Ueber der Säule O ragt der eine Zapfen, um den der Cylinder drehbar ist, heraus, und trägt hier einen Wirtel. Um diesen, so wie um das größere Rad K geht in Einschnitten eine Schnur ohne Ende. Wenn nun das Rad K mittelst seiner Handhabe in eine drehende Bewegung gesetzt wird, so theilt sich diese dem Wirtel und durch den letzteren dem Cylinder mit. F G ist das Reibzeug, welches durch Federn an den Cylinder angedrückt wird und $^1/_8$ bis höchstens $^1/_4$ seines Umfanges umspannt. Die Federn, welche das Kissen andrücken, sind hinten an dasselbe angeschraubt, und gehen aus der hölzernen Haube einer starken gläsernen Säule hervor, welche auf dem Brette L steht. P ist ein Lappen von Wachstaffet, welcher an das Reibzeug befestigt ist und den oberen Theil des Cylinders bedeckt, um die auf dem letzteren entwickelte Elektricität am Entweichen zu verhindern. A B ist der gewöhnlich aus Messingblech verfertigte Conductor, der auf Glasfüßen von passender Länge steht und bei N mit Spitzen versehen ist, welche nahe an den Cylinder reichen und die Elektrilität desselben aufsaugen. Verbindet man das Reibzeug durch einen Leiter, gewöhnlich eine Kette, mit dem Fußboden und setzt dann die Maschine durch Umdrehung des Rades K in Bewegung, so erhält der Conductor A B Elektricität, welche mit der des Glases gleichnamig ist; hat man dagegen den Conductor mit dem Fußboden in leitende Verbindung gesetzt, so häuft sich im Reibzeuge F G die der Glaselektricität entgegengesetzte an. Uebrigens kann man auch am Reibzeuge einen Conductor anbringen, der ganz die Einrichtung des Leiters A B hat. Nairne's Elektrisirmaschine ist so eingerichtet, daß sie beide Elektricitäten auf zwei verschiedenen Conductoren zugleich giebt. Der geriebene Körper ist hier ein großer Glascylinder, welcher, wenn man ihn vermittelst der Kurbel um seine horizontale Axe dreht, fast seiner ganzen Länge nach von einem Kissen gerieben wird, das mit dem Conductor C in Verbindung steht. Dem letzteren befindet sich diametral gegenüber ein zweiter Conductor C' welcher auf der dem Cylinder zugekehrten Seite mit Spitzen versehen ist. Wird nun der Glascylinder gedreht, so werden die beiden Conductoren mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen. Soll aber der Conductor C' eine möglichst starke Ladung erhalten, so muß man auch hier



den anderen C mit dem Boden leitend verbinden. Die obere Hälfte des Cylinders ist gleichfalls mit einem Stück Wachstaffet bedeckt, damit das am Reibzeuge geriebene Glas auf dem Wege bis zum Conductor C' seinen elektrischen Zustand nicht verliert.

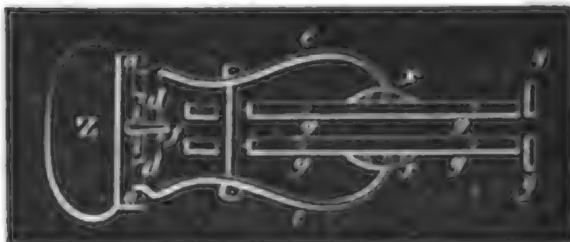
Mehr als die Cylindermaschinen sind jetzt die Scheibenmaschinen im Gebrauche, welche sich leichter in größeren Dimensionen ausführen lassen und auch sonst mancherlei Vorzüge besitzen. So kann man einer Scheibe eher als einem Cylinder eine durchaus gleichmäßige Oberflächenbeschaffenheit geben, das Reibzeug schmiegt sich bei gleichem Drucke inniger an das Glas an, und weil das letztere bei Scheiben auf beiden Seiten gerieben wird, so erlangt die entwickelte Elektricität eher diejenige Spannung, welche den Uebergang auf den Conductor bewirkt. Ueberdies können, um die Wirkung zu erhöhen, zwei Scheiben auf derselben Axe nebeneinander befestigt werden.

Eine der ausgezeichnetsten Scheibenmaschinen ist die von Marum *) ausgeführte, mit welcher die negative Elektricität in gleicher Stärke wie die positive, und an demselben Leiter sowohl die negative als auch die positive dargestellt werden kann. AB ist eine kreisrunde Scheibe von Glas, die 32 Zoll im Durchmesser hält. In der Mitte ist diese Scheibe durchbohrt, so daß sie auf eine Axe gesteckt und an derselben befestigt werden kann. Das Loch in der Scheibe hat 2 Zoll im Durchmesser, und enthält eine Fütterung von Buchsbaumholz, in dem eine Oeffnung von 1 Zoll Weite ist. Die Axe der Scheibe, mittelst deren dieselbe in eine drehende Bewegung gesetzt wird, besteht wesentlich aus zwei Stücken, dem metallenen Stücke CD und dem hölzernen Stücke L. Dieses ist aus Holz gearbeitet, damit durch die Axe nicht eine Ableitung der Elektricität stattfinde, und zwar wird dazu sehr stark ausgetrocknetes Nußbaumholz genommen, welches überdies in heißem Zustande mit Bernsteinfirniß überzogen wird. Das cylinderförmige Holzstück ist an seinen beiden Enden abgedreht und mit eng anschließenden metallenen Kappen bedeckt, die durch Nägel an das Holz befestigt sind. Ueber das ganze Stück geht eine Bedeckung von Gummilack. Die eine der Kappen ist mit einem Zapfen von 1 Zoll Dicke und 2 Zoll Länge versehen, der in eine Schraube endet. Ueber diesen wird erst eine kleine, die Oberfläche der Zwinge bedeckende Filzscheibe geschoben, darauf die Glasscheibe mit ihrer Oeffnung, dann noch eine kleine Filzscheibe und endlich eine Mutterschraube von Buchsbaumholz, die halbkugelförmig abgedreht ist,



*) Journ. de physique. Description d'une machine électrique construite d'une manière nouvelle et simple, et qui réunit plusieurs avantages sur la construction ordinaire. Gren's Journ. der Physik. Bd. IV. S. 3 u. ff.

aufgesetzt. Zwei Löcher in der letzteren dienen einen Schraubenschlüssel aufzunehmen, mittelst dessen die Glasscheibe durch das Anziehen der Schraube an die Axe befestigt wird. Die andere der beiden die Enden des Stückes L überspannenden Metallkappen ist mit ihrem Boden auf die eiserne Axe C D geschraubt. Die Axe der Scheibe und diese selbst werden durch einen Ständer T getragen, der aus einer Glassäule besteht, die oben mit einem längeren Gesimse versehen ist. Auf dem Gesimse liegt die eiserne Stange C D, welche den vorderen Theil der Axe ausmacht, in zwei bei C und D angebrachten kupfernen Lagern. In diesen Lagern wird die Stange durch Ueberlagen, die sie überspannen und die durch starke Schrauben befestigt sind, gehalten. Damit die Reibung der Stange gegen die Ueberlagen, welche die schwere Glasscheibe durch ihr Uebergewicht verursachen müßte, geringer sei, ist bei F ein Gegengewicht von Blei über die Stange geschoben. Die Kurbel M, welche noch zu völliger Isolirung der Maschine mit einer gläsernen Handhabe versehen ist, dient die Scheibe umzudrehen. Zu beiden Seiten der Scheibe stehen die gläsernen Säulen S und S, welche die Reibzeuge der Maschine, deren zwei Paare sind, tragen. Ein Paar dieser Reibzeuge, durch welche also die Scheibe auf beiden Seiten gerieben wird, stellt die folgende Figur besonders dar. Das Reibzeug besteht aus einer Holzplatte, welche mit sehr locker gesponnenem, dickem und elastischem Wollengarn oder auch mit Roßhaaren belegt, und gewöhnlich mit dünnem Kalbleder bezogen ist. Die Länge beträgt bei der van Marum'schen Maschine 9 Zoll, so daß also die Scheibe in einer sehr großen Ausdehnung gerieben wird, ihre Breite aber nur $2^1/_2$ Zoll. Das vordere Ende ist mit Scheiben y, y von Gummilack bedeckt, welche auf drei Seiten hervorstehen und verhindern, daß die Ränder und Ecken dieses Theils zu einem Verluste an Elektricität Veranlassung geben. Die Platten werden durch metallene Federn e, e festgedrückt, welche durch eine gemeinschaftliche Schraube nach Gutdünken angezogen werden können. An jedem Reibzeuge ist ein metallenes Stück x, x angebracht, welches 3 Z. lang und 1 Z. breit ist. Dasselbe ist durch Schrauben auf dem Rücken des Reibzeugs und an das Ende der Feder durch ein gewöhnliches Charnier befestigt. Jedes Paar der Reibzeuge ist durch eine Schraube auf eine kupferne Platte befestigt, welche die Form eines Schwalbenschwanzes hat, und welche in eine Kugel Z von 6 Zoll im Durchmesser, die auf die Zwinge des gläsernen Trägers geschraubt ist, paßt. Der Theil der Kugel Z (vergl. auch die vorhergehende Haupt-Figur), welcher dem Rande der Scheibe gegenübersteht, ist bei $^1/_3$ des Durchmessers abgeschnitten, so daß der Schnitt fast 5 Zoll im Durchmesser hat. An dieser Stelle ist eine Kupferplatte a a von $^3/_4$ Zoll Dicke angelöthet, welche in Form eines Schwalbenschwanzes ausgehöhlt ist, um den Schieber oder die Klappe i i von Kupfer aufzunehmen. Die Mitte dieses Schiebers ist viereckig durchbohrt, um eine Schraube durchzulassen. Die Eisenplatte d d, welche die beiden Federn e, e durch Charniere verbindet, wird über diese Schraube gesteckt und auf dem Schieber i i durch Hülfe einer starken Schraubenmutter f festgehalten. Man bringt die beiden Schieber i i an ihre respectiven Stellen an der Kugel Z von oben her, und da sie unten schmäler sind als oben, so müssen sie festhalten, wenn sie weit genug herabgedrückt sind. Die



dünnen Bleche, womit die Reibzeuge auf ihren Rücken versehen sind, und welche die Charniere xx berühren, indem sie die ganze Breite des Reibzeuges bedecken, schließen sich an die mit Amalgam bestrichenen Flächen an. Taffetstücke, welche wie bei den Cylindermaschinen, die Zerstreuung der Elektricität verhindern sollen, sind auch hier an die Reibzeuge und vermittelst hölzerner Stäbe, die von der Kugel Z ausgehen, befestigt. — Der Conductor steht bei der van Marum'schen Maschine auf der unverrückbaren Glassäule R, und besteht in einer messingenen Kugel Q von 9 Zoll Durchmesser, welche mittelst einer metallenen Kappe auf der Glassäule aufsitzt. Durch die Mitte dieser Kugel geht eine drehbare Axe NO, und an diese sind bei O die beiden von Draht gebogenen Arme P und P befestigt, welche Einsauger bei V und V tragen, die ganz nahe an die Scheibe reichen. Die beiden Arme PP lassen sich so mit der Axe NO umdrehen, daß sie nach Gutdünken sowohl in horizontale als in verticale Richtung gestellt werden können. Eine ähnliche Gabel wie diejenige ist, welche die Arme PP machen, ist auf der anderen Seite der Scheibe angebracht und an die Axe des Cylinders befestigt, da wo das Holzstück derselben mit dem Metallstücke in Verbindung steht. Die beiden Arme NN sind 1/2 Zoll dicke Messingdrähte, welche kreisförmig gebogen sind; sie tragen an ihren Enden gegen die Scheibe zu ähnliche, aber etwas kleinere Zuleiter wie die Arme PP; mit den anderen Enden sitzen sie an einer Scheibe fest, die über die Axe der Glasscheibe gesteckt ist und an der sie sich bewegen lassen, so daß sie sich gleichfalls nach Gutdünken sowohl in horizontale als in verticale Stellung bringen lassen. Sämmtliche 4 Glassäulen, welche die Maschine tragen, sind unten in metallene Kappen eingekittet, und diese sind an das Fußbett festgeschraubt. Die Säulen haben also oben und unten Fassungen von Metall, und diese sind der Vorsicht wegen noch mit abgerundeten Fassungen von Mahagoniholz bekleidet, so daß die Metallfassungen nirgends an der Oberfläche liegen, also auch nicht Elektricität zerstreuen oder entziehen können. Will man nun die Maschine in Thätigkeit setzen, so muß eine Kette von D aus die leitende Verbindung mit dem Erdboden herstellen, und will man am Conductor Q Glas- oder sogenannte positive Elektricität sammeln, so müssen die Arme N und N horizontal gestellt werden, so daß sie mit ihren Zuleitern die Reibkissen berühren, die beiden Arme PP des Conductors dagegen werden vertical so gestellt, daß die Enden der Wachstaffetlappen bis zu ihnen hinreichen. Will man dagegen am Conductor Q die der Glaselektricität entgegengesetzte oder die sogenannte negative Elektricität darstellen, so werden die Arme P und P horizontal an die Reibkissen gestellt, und dagegen die Arme N und N vertical. Man sieht, daß im ersten Falle durch die Ableitungskette bei D die Elektricität des Reibkissens, im zweiten Falle aber die entgegengesetzte Elektricität der Glasscheibe abgeleitet wird.

Die größte von allen Elektrisirmaschinen, die gebaut worden sind, ist wohl die von Cuthbertson unter van Marum's *) Leitung für das Teyler'sche Museum in Harlem verfertigte. Diese Maschine besitzt zwei Glasscheiben, von denen jede 65 englische Zoll im Durchmesser hat und die auf einer und derselben

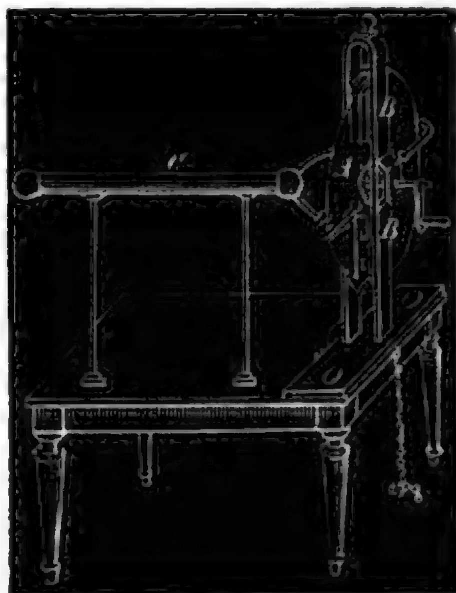
*) Beschreibung einer ungemein großen Elektrisirmaschine und der damit im Teyler'schen Museum zu Harlem angestellten Versuche. Leipzig 1786. 4. erste Fortsetzung 1788. 4., zweite 1798. 4.

Axe in einer Entfernung von $7^1/_2$ Zoll von einander sitzen. Acht Reibkissen erregen während der Umdrehung die Elektricität an den Glasscheiben, und jedes dieser Reibkissen ist $15^1/_2$ Zoll lang. Die Axe ruht auf Glassäulen und ist, um die Ableitung der Elektricität zu verhindern, mit einer Harzmasse überzogen. Der Conductor hat eine Oberfläche von $23^1/_2$ Quadratfuß und besteht aus 5 Theilen. In gerader Linie nämlich mit der Axe steht 68 Zoll von den Scheiben entfernt eine 57 Zoll hohe Glassäule, welche einen kupfernen Cylinder von 22 Zoll trägt, der am Ende Kugeln von 9 Zoll Durchmesser hat. An der von der Maschine abgekehrten Seite dieses Cylinders geht eine metallene Stange abwärts, die in einer 4zölligen Kugel endigt. An dem anderen Ende laufen zwei gleichfalls in Kugeln endigende Arme von 9 Zoll Länge rechtwinkelig gegen den Cylinder aus. Ferner steht auf jeder Seite der Maschine eine ebenfalls 57 Zoll hohe Glassäule, die einen Cylinder von gleicher Größe mit dem beschriebenen trägt. Von jedem dieser zwei seitwärts stehenden Cylinder aus geht ein rechtwinkelig gebogener Arm von 14 Zoll Länge zwischen die beiden Scheiben der Maschine, und auf jedem dieser Seitenarme befinden sich 4 Spitzen zum Einsaugen der Elektricität gegen die Scheibe gerichtet. Durch zwei metallene Cylinder werden endlich die drei auf den Glassäulen stehenden Leiter untereinander verbunden. Die bedeutendsten Funken erhält man bei dieser Maschine aus der vierzölligen Kugel an dem abwärtsgehenden Arme des zuerst erwähnten Cylinders. Der aufsaugende Leiter ist ein 22 Zoll langer und 8 Zoll im Durchmesser haltender Cylinder, welcher in Kugeln von 12 Zoll im Durchmesser endigt. In einer Minute gab bei günstiger Witterung der erste Leiter gegen die aufsaugende Kugel 300 Funken, jeder 24 Zoll lang und wie ein Federkiel dick, welche sich schlängelten und an den Krümmungen 6 bis 8 Zoll lange Strahlen schießen ließen. Ein isolirter 207 Fuß langer Draht am Leiter wurde bei jedem Funken in seiner ganzen Länge erleuchtet und schoß überall Lichtbüschel von 1 Zoll aus. Eine Batterie von 225 Quadratfuß belegter Oberfläche wurde durch 160 Umdrehungen der Scheiben geladen. Ein Schlag dieser Batterie spaltete einen Cylinder von Buchsbaumholz 4 Zoll hoch und 4 Zoll im Durchmesser, wozu nach van Marum's Berechnung eine Kraft von 9840 Pfund erforderlich war. Wie groß nun auch diese Leistungen erscheinen mögen, so sind dieselben doch, wie vergleichende Versuche mit der van Marum'schen Maschine gelehrt haben, nicht der Größe der beschriebenen Maschine angemessen, wovon der Grund zum Theil in der mangelhaften Isolirung der Reibzeuge liegt. Daher kommt es auch, daß die sogenannte negative Elektricität nicht in gleicher Stärke mit der positiven gewonnen werden kann.

Eine sehr große Scheibenmaschine befindet sich auch im polytechnischen Institute zu Wien. Wie sehr es übrigens bei Herstellung einer wirksamen Elektrisirmaschine auf eine zweckmäßige Einrichtung, namentlich auf sorgfältige Isolirung, auf Beschaffenheit des Glases der Scheibe, auf gute Einrichtung der Reibzeuge rc. ankomme, zeigen die von Pfister in Wien und in neuerer Zeit die von Winter (ebenda) gebauten Elektrisirmaschinen, deren Dimensionen verhältnißmäßig klein sind. An der Maschine von Pfister hat die Scheibe einen Durchmesser von 28 Z., ist in ihrer ganzen Ausdehnung 2 Linien dick und aus venetianischem Spiegelglase geschnitten. Die Reibzeuge sind 7 Zoll lang, 2 Zoll breit und 1 Zoll dick, gegen die Glasseite ganz flach, am Rücken hingegen cylinderisch abgerundet. Jedes derselben ist mit lackirtem Taffet und überdies noch gegen die Axe zu mit ovalen

Spiegelgläsern versehen. Durch eine eigenthümliche Einrichtung sind die Reibzeuge nach allen Richtungen beweglich, so daß sie stets an das Glas gleichmäßig angedrückt werden. An die Reibzeuge sind aus mehreren Bogen bestehende Flügel von gefirnißtem Seidentaffet befestigt. Der Conductor ist eine Kugel von Messingblech, die 10 Zoll im Durchmesser hält und auf einer messingenen Glocke ruht, deren Randstärke 2 Zoll beträgt. Derselbe wird von einer verticalen Glassäule getragen, die mit dem unteren Ende in einem Fuße eingekittet ist, der sich auf dem Bodenbrette der ganzen Maschine verschieben und auch in jeder Lage mittelst einer Schraube befestigen läßt. Der Conductor ist mit Armen versehen, die einen Halbkreis von 3 Fuß Durchmesser bilden und 1 Zoll dick sind. Sie lassen sich horizontal und vertical stellen, je nachdem sie die Elektricität des Glases oder der Reibzeuge aufnehmen sollen. Die Einsauger an den Armen bestehen aus 1 Zoll dicken und 5 Zoll langen Röhren; jeder derselben hat 4 Spitzen, die $^1/_2$ Zoll lang sind. Gegen die Axe der Scheibe zu sind sie mit Kugeln aus Guajakholz versehen. Diese Maschine giebt 14 Zoll lange positive und 10 bis 11 Zoll lange negative Funken, welche eine 4 Linien dicke Glastafel durchbohren. Eine große Lane'sche Flasche kann durch 14 Umdrehungen so stark geladen werden, daß ein 18 Zoll langer Eisendraht Nr. 12 geschmolzen wird *).

Die gewöhnlichste Art der Scheibenmaschinen ist nach Art der folgenden eingerichtet. Die Glasscheibe wird zwischen zwei senkrechten Pfosten umgedreht, an welchen bei B und B die Reibzeuge angebracht sind, deren es zwei Paare giebt. Diese hölzernen Säulen, welche auch die Scheibe tragen, müssen aus wohl getrocknetem und wohlgefirnißtem Holze gefertigt, möglichst schmal sein und nicht zu nahe aneinander stehen, weil sie, wenn sie zu nahe an der Scheibe stehen, dieser Elektricität entziehen. Die Reibzeuge dürfen nicht mehr als die Hälfte des Halbmessers der Scheibe einnehmen und nur eine Breite von etwa 2 Zoll haben. Auch müssen sie das Glas in allen Punkten der zwischen ihnen hindurchgehenden Scheibe genau berühren. Vom Reibzeuge aus gehen bis zu den Einsaugern des Conductors auf der Seite, wo die Scheibe bei der Umdrehung die Reibzeuge verläßt, Flügel von Wachstaffet, welche eine ununterbrochene Fortsetzung der Lederfläche der Reibzeuge sein müssen und die bekanntlich dazu dienen, daß der durchs Reiben erregte elektrische Zustand des Glases sich auf dem Wege vom Reibzeuge bis zu den Einsaugern des Conductors nicht so leicht in die Luft verliere. Bei kleineren Maschinen pflegt man die Axe aus wohl ausgetrocknetem und noch heiß mit Oel getränktem Holze, bei größeren Scheiben aus Eisen zu verfertigen. Im letzteren Falle wird sie gegen die Scheibe zu mit wohlgerundeten Holzstücken bedeckt, und der Theil der Axe, welcher durch die Scheibe geht, mit Holz umgeben. Der

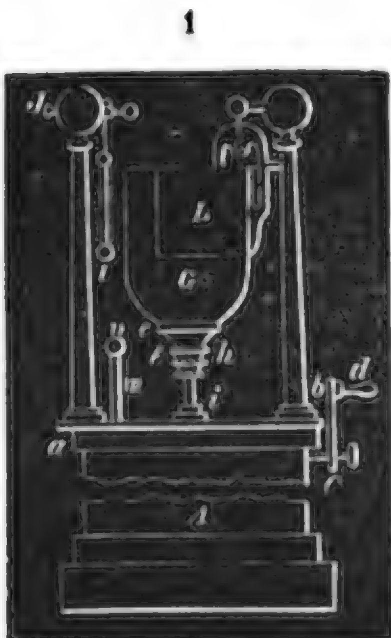


*) Baumgartner's Zeitschrift für Physik und Mathematik. Bd. III. S. 439.

Conductor C besteht aus einem Cylinder von Messingblech mit zwei nach der Größe des Durchmessers der Scheibe auseinander gebogenen Armen, die an ihren Enden mit Einsaugern (Spitzen auf abgerundeten kleinen Cylindern) versehen sind. Die Reibzeuge sind bei dieser Maschine in ihrer gewöhnlichen Einrichtung nicht isolirbar, was auch, wenn man blos die sogenannte positive Elektricität sammeln will, nicht nöthig ist. Im Gegentheil muß, wenn diese positive Elektricität im Maximo hervortreten soll, das Reibzeug mit dem Fußboden leitend verbunden sein. Jedes der Reibzeuge steht dann gewöhnlich durch einen schmalen Streifen Zinnfolie, der mittelst Schellacks an der entsprechenden Holzscheibe befestigt ist, mit dem Gestelle der Maschine und das letztere durch eine Kette oder einen dünngewalzten Kupferstreifen mit dem Fußboden in Verbindung. Will man aber die Reibzeuge isolirt erhalten, so muß diese Maschine auf Glasfüße gestellt werden.

Sehr wirksam zeigte sich die von Wolfram*) construirte Glasglockenelektrisirmaschine. Das Gestell A ist ein hölzerner 36 Zoll hoher Kasten, dessen Grundfläche 23 Zoll, der horizontale Durchschnitt des Rumpfes 21 Zoll und die Deckplatte 24 Zoll ins Gevierte hat. Die Deckplatte läßt sich von dem übrigen Theile des Gestelles leicht abnehmen und wieder daran befestigen, indem sie blos durch 4 im Innern des Gestelles vorhandene und in Oesen der Platte eingreifende Haken, so wie durch 4 von ihrer unteren Seite befindliche und auf den Rumpf des Gestelles genau anschließende Leisten festgehalten wird. Der Mechanismus zur Umdrehung der Glocke ist in dem Gestelle an der unteren Fläche der Deckplatte angebracht und besteht in einer Schraube ohne Ende, welche mittelst der Kurbel c d in Bewegung gesetzt wird. Das Stirnrad hat 21 und das Getriebe 8 Schraubengänge. Die Glocke macht also mehr als drittehalb Umgänge, während die Kurbel einmal herumgeführt wird. Statt der Schraube ohne Ende kann man die Bewegung der Glocke auch mittelst eines Schnurrades und eines an der Axe, welche die Glocke trägt, befindlichen Wirtels hervorbringen, indem man die Schnur des außerhalb des Gestelles angebrachten Rades über 2 Rollen in horizontaler Richtung in das Innere leitet und um den Wirtel herumführt. Die Glasglocke, welche auf beiden Seiten gerieben wird, muß, so weit dies geschieht, möglichst cylindrisch und an ihrem gewölbten Theile mit einem Halse versehen sein; sie hat einen Durchmesser von 12 Zoll. Ihr Hals und ein Theil der Wölbung werden in eine wohlabgedrehte Haube e h von festem und gedörrtem Holz eingekittet, wobei Sorge zu tragen ist, daß die Glocke beim Umdrehen so wenig als möglich schwanke. Unten hat die Haube eine messingene Fassung f i, mittelst deren die Glocke auf dem über das Gestell hervorragenden Theile der Axe des Getriebes aufgesetzt ist. Zu dem Reibzeuge gehören zwei Brettchen von 8 Z. Länge und 3 Z. Breite, von denen die umstehende Fig. 2 eines

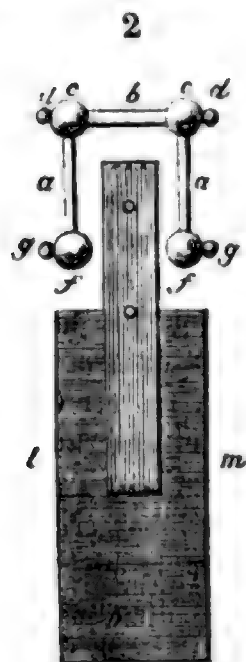
1



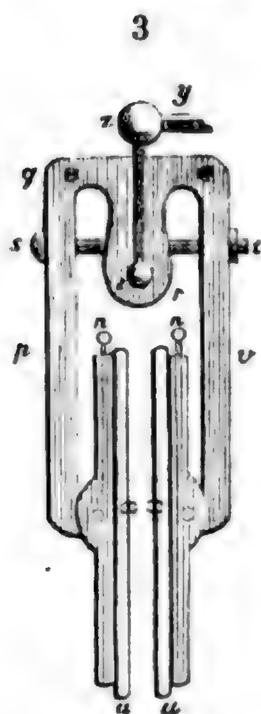
*) Gilb. Ann. Bd. LXXIV. S. 53.

nach seiner Länge und Breite zeigt. Weil die dem Glase zugekehrte Fläche jedes Brettchens mit dem Cylinder concentrisch geht, so ist das eine in der Mitte seiner Breite dicker, das andere dünner an den Seiten. Weiter gehören hierher zwei dünne Latten p, v, Fig. 3, 8½ Z. lang, 2 Z. breit und 3 Linien dick; ein Stück Holz q r, 3 Zoll hoch, von der Breite der Latten; und ein Stäbchen s t, bei s mit einem Knopfe, bei t mit einem Gewinde und einer Schraubenmutter versehen, alles vom festesten und trockensten Holze. Die Länge dieses Stäbchens beträgt 4 Zoll, nahe am Kopfe ist es vierkantig und der übrige Theil abgedreht. Die beiden Blättchen sind durch Charniere oben mit dem Stück q r und unten mit dem Brettchen n u verbunden, welche für diesen Zweck um die Mitte ihrer Länge einen Ansatz haben. Das Stück q r ist von der vorderen nach der hinteren Seite durchbohrt, um den kleinen Stab s t durchzulassen. Das Lättchen p hat zu gleichem Behufe eine viereckige, das Lättchen v eine runde Oeffnung. x x sind Polster, die aus mehreren Lagen eines weichen Wollenzeuges bestehen, das mit Seidenzeug überzogen ist. Jedes Polster wird an beinerne Knöpfchen von 2 Linien Durchmesser, die Fig. 2 bei l zu sehen sind, angehängt; ebenso auch das mit dem Amalgam überzogene Leder oder Seidenzeug. Die leitende Verbindung des letzteren mit dem Brettchen wird durch ein um das Polster gelegtes Blatt Stanniol, und die jedes Brettchens mit dem Conductor durch einen Metalldraht bewirkt. — Zur Verbindung des Reibzeuges mit der Maschine dienen vier Stücke, die alle aus Messing gemacht sind. Nämlich zwei horizontal liegende Röhrchen in dem für die negative Elektricität bestimmten Conductor; zwei mit Kugeln versehene Stäbe, welche in jenen Röhrchen leicht, ohne zu schlottern, sich hin und her schieben lassen. Ein solchen Stab y zeigt Figur 3. Dann die beiden oben und unten mit Kugeln versehenen Stäbchen a, a (Fig. 2), welche mit den Kugeln 4 Zoll lang sind. Endlich zwei Querstäbchen, von denen in Fig. 2 nur das eine bei b sichtbar ist, dessen Zapfen durch die Kugeln c, c hindurchgehen und sich in den ungefähr bis zum Mittelpunkte ausgebohrten Kugeln d, d endigen, in welchen sie sich leicht umdrehen lassen. Das andere Querstäbchen ist durch das Stück q r (Fig. 3) bei l gesteckt; seine aus demselben hervorragenden Zapfen gehen durch die Kugeln f f (Fig. 2) und haben, so weit sie aus diesen herausstehen, Gewinde, an welchen die kleineren Kügelchen g, g vorgeschraubt werden. Die Vortheile dieser Einrichtung des Reibzeuges sind, daß, wenn es durch den Umlauf der Glocke aus seiner senkrechten Stellung gebracht wird, dabei doch den Schwankungen der Glocke nachgiebt, ohne daß die Stärke des Reibens geändert wird 2c.

2



3



Die beiden **Hauptleiter** der Maschine sind hohle messingene Cylinder, 3 Zoll im Durchmesser und 16 Zoll lang. An ihren Enden haben sie 4zöllige Kugeln, mit welchen sie auf massiven, überfirnißten und 27 Zoll hohen Glassäulen

ruhen. Zur Aufnahme der Elektricität von der Glocke dient die Fig. 4 abgebildete Vorrichtung an dem vorderen Leiter. Es ist r eine messingene Röhre, 1 Zoll weit und $7^1/_2$ Zoll lang; die Kugeln k, l haben $1^1/_2$ Zoll im Durchmesser. Von einer zur anderen ist ein Klavierdraht gespannt, welcher die Stelle der einsaugenden Spitzen vertritt. Ueber der Kugel k befindet sich die engere $3^1/_2$ Zoll lange Röhre mit der durchbohrten Kugel m, welche sich längs des Stäbchens n, an dessen einem Ende die Kugel w befindlich ist, verschieben und mittelst der Schraube o feststellen läßt. Quer durch die Mitte des Hauptleiters geht in horizontaler Richtung ein Röhrchen, das zu beiden Seiten etwas hervorsteht. An der vorderen wird die Kugel J (s. Fig. 1), mittelst deren sich ein Quadrant-Elektrometer und dergl. leicht an dem Leiter befestigen läßt, vorgeschraubt; an der hinteren, d. h. der der Glocke zugewandten Seite aber hat das Röhrchen einen wohl abgerundeten Ring mit einer Schraube, mittelst welcher das in das Röhrchen passende Stäbchen n, nachdem man es so weit hineingeschoben, daß der Clavierdraht von der umlaufenden Glocke nicht mehr berührt wird, festgehalten werden kann. Gerade unter der Kugel l (Fig. 1) ist in der Deckplatte des Gestelles ein mit einer Feder versehenes Röhrchen eingelassen, in welchem sich der Stab m mit der Kugel n verschieben läßt. An das untere Ende des Stabes kann man ebenfalls eine Kugel anschrauben, nachdem man ihn durch die Röhre gesteckt hat. Diese Vorrichtung dient als Funkenmesser; nur muß man Sorge tragen, daß die Elektricität von dem Stäbchen m auf irgend einem Wege zu dem Fußboden geleitet werde.

4



Die Wirkungen dieser Maschine stehen denen der besten Cylindermaschinen nicht nach. Wolfram berichtet: aus der Kugel l schlagen unter günstigen Umständen zur Kugel n 10 Zoll lange Funken, welche im Finstern dem Ansehen nach die Dicke eines Strohhalmes haben und die ziemlich schnell aufeinander folgen. Entfernt man den Funkenmesser, so zeigt sich im Dunkeln ein Lichtbüschel von gewöhnlich 6 bis 7 Zoll Länge, der sich unter einem Winkel von 60° bis 70° nach allen Seiten ausbreitet. Wenn die Maschine am besten wirkt, kann eine Flasche von 1 Quadratfuß äußerer Belegung bei 8maligem Umdrehen der Kurbel bis zum Ueberschlagen geladen werden. Man erkennt übrigens, daß diese Maschine eine viel zusammengesetztere Construction als die Scheibenmaschine hat, wozu noch die mehr oder weniger unsichere Bewegung der Glocke, größere Gebrechlichkeit rc. kommt. Vor den Cylindermaschinen hat sie wohl in sofern einen Vorzug, als bei ihr die innere und äußere Glasfläche gerieben wird.

Pape *) hat eine Elektrisirmaschine construirt, bei der ein mit amalgamirtem Leder überzogener Stempel an den Wänden einer Glasröhre sich reibt.

Es versteht sich von selbst, daß man statt des Glases auch jeden anderen guten Isolator der Elektricität zur Construction einer Elektrisirmaschine verwenden kann. So erwähnt Volta einer Maschine, die eine Scheibe von wohlausgetrockneter Pappe hatte. Ingenhouß gebrauchte runde mit Copal- oder Bernsteinfirniß getränkte Pappscheiben, die an Flanell und Hasenbalg gerieben wurden. Eine

*) Sillim. amer. Journ. 26. p. 110.

sehr wohlfeile und doch recht wirksame Maschine construirte Lichtenberg *), bei der eine mit glattem, wollenem Zeug überspannte Trommel sich an einem Kissen reibt, das mit einem langhaarigen Katzenfell überzogen ist. Auch kann die Trommel mit Glanzleinwand, mit Papier oder mit seidenem Zeuge überspannt werden. Endlich hat Barlow **) in neuester Zeit die Glasscheibe durch eine Tafel von Gutta-Percha ersetzt, eine Substanz, die dermalen auch zur Isolirung leitender Körper vielfach benutzt wird.

Als Erfinder der Elektrisirmaschine werden gewöhnlich Guerike und Hawkesbee angeführt, in sofern nämlich, als der erstere zum Behufe der Elektrisirung eine Schwefelkugel mittelst einer Kurbel, der letztere eine Glaskugel mit Hülfe eines Rades in schnelle Bewegung setzte. Statt des Reibzeuges gebrauchte man anfangs ausschließlich die Hände, indem man sie gegen die gedachten Kugeln, oder Cylinder drückte, bis Sigaud de la Fond die Kissen seiner Maschine, welche als Reibzeuge dienten, mit Federn versah. Der Conductor wurde von Winkler eingeführt.

Von der Art und Weise, wie vermittelst einer Elektrisirmaschine, z. B. der Cylindermaschine, Elektricität erregt und auf der Oberfläche des Conductors angehäuft wird, macht man sich nach der dualistischen Hypothese folgende Vorstellung. Durch das Reiben des Glases am Amalgam des Reibzeuges wird das erstere an den geriebenen Stellen positiv, das Reibzeug negativ elektrisch. Wenn nun das positiv elektrische Glas in die Nähe des Conductors kommt, so trennt sich ein Theil der negativen Elektricität dieses Leiters von einem gleich großen Theile vorher von ihm gebundener positiver Elektricität, dadurch bleibt dann am Leiter ein gleich großer Theil positiver Elektricität frei zurück. Indem dies bei der fortwährenden Umdrehung des Cylinders oder der Scheibe sich wiederholt, sammelt sich immer mehr freie positive Elektricität auf dem Conductor an. Wie sich die Vorgänge an der Elektrisirmaschine erkennen lassen, wenn man nur Ein elektrisches Fluidum annimmt, haben wir bereits im Artikel Elektricität angedeutet. Wenn ungleichartige Körper aneinander gerieben werden, so findet eine Störung des elektrischen Gleichgewichts in beiden Körpern und damit ein Uebergang des Elektricums aus dem einen in den anderen statt. Der eine Körper enthält dann mehr, der andere weniger Elektricität, als im gewöhnlichen Zustande, d. h. der eine ist positiv, der andere Körper negativ elektrisch. Geht nun während des Reibens das im Glas vorhandene Elektricum in das leitende Amalgam über, so wird das letztere positiv, das Glas aber an den geriebenen Stellen negativ elektrisirt. In sofern jedoch das Reibzeug mit dem Boden in leitender Verbindung steht, verbleibt dasselbe in seinem natürlichen Zustande, da derjenige Theil des E, den es vom Glase empfangen, auf dem Boden sich ausbreitet. Ohne diese Ableitung müßte das Elektricum bei einer gewissen Anhäufung auf dem Amalgam wieder in das Glas zurückgehen. Die geriebenen Stellen des Glases nähern sich aber dem isolirten Conductor, der ihnen von seinem eigenen E so viel abgiebt, als sie durch das Reiben verloren haben. Während dies geschieht, drängen sich die elektrischen Sphären der Luft nach ihm hin, ohne gerade die Lufttheilchen zu ver-

*) Gothaisches Magazin für das Neueste aus der Physik. Bd. I. St. 1. S. 83.
**) Phil. Mag. T. XXXVII. p. 428.

lassen. Weil demnach das Elektricum des isolirten Conductors sich den geriebenen, also negativ elektrischen Stellen des Glases zuwendet und ihnen den Verlust durch Mittheilung ersetzt, so wird der Conductor selbst *negativ* elektrisirt, und jeder Körper, der in seine Nähe kommt, giebt ihm eben deshalb etwas von seiner Elektricität in der Gestalt des elektrischen Funkens ab.

Um den Grad der Ladung eines Conductors ungefähr zu beurtheilen, pflegt man das *Henley*'sche Quadrantelektrometer aufzuschrauben. Wenn man dann die Maschine dreht, so wird anfangs das Kügelchen des Elektrometers lebhaft abgestoßen; es steigt rasch, bleibt aber bald an einem bestimmten Punkte des getheilten Halbkreises fest stehen, obgleich die Maschine sich in unausgesetzter Thätigkeit befindet. Die Spannung auf dem Conductor erreicht also eine gewisse Grenze, welche trotz der steten Elektricitätsentwickelung nicht überschritten werden kann. Je mehr nämlich der Conductor von seinem E an das Glas entläßt, um so stärker drängen sich auch die elektrischen Sphären der Luft zu ihm hin. Bei fortgesetztem Drehen muß daher der Verlust des Conductors an E bald eine solche Größe erreichen, daß die umschließende Luft ihr Elektricum nicht mehr zurückhalten kann, sondern zum Theil an den Conductor abtreten muß. Alsdann kann der negativ elektrische Zustand des Conductors keinen höheren Grad mehr erreichen; das Elektrometer zeigt nun stets auf denselben Punkt der Theilung hin, da der elektrische Verlust, welchen der Conductor in jedem Zeittheilchen nach dem Glase hin erleidet, gleich sein wird der Elektricitätsmenge, welche ihm in derselben Zeit von der Luft zugeführt wird. Das Elektrometer zeigt hier also gewissermaßen die Größe der Spannung an, mit welcher die elektrischen Sphären der Luft nach dem Conductor hin streben. Der mit dem Reibzeuge in Verbindung stehende Conductor wird, wenn die Maschine in Thätigkeit ist, positiv elektrisch, in sofern die am Glase entwickelte Elektricität auf ihn übergeht. Das Glas erhält dann Ersatz durch den anderen Conductor, dem die geriebenen Stellen des Glases nahe kommen, und dieser muß mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, wenn die Elektricität des Reibzeuges im Maximo der Spannung hervortreten soll. Die Grenze der Ladung ist hier erreicht, sobald die auf jenem Conductor angehäufte Elektricität eine solche Spannung erlangt hat, daß der elektrische Verlust an die Umgebung in jedem Zeittheilchen gleich ist der Elektricitätsmenge, welche in derselben Zeit diesem Conductor zugeführt wird. Aus dem Vorstehenden folgt, daß man dem Conductor bei feuchtem Wetter keine so starke negative oder positive Ladung ertheilen kann, wie in trockner Luft. Die Versuche mit der Elektrisirmaschine gelingen am besten in einem geheizten Zimmer. Auch pflegt man vor dem Gebrauche die isolirenden Träger mit einem trocknen Tuche zu reiben, um etwa anhaftende Feuchtigkeit und Staubtheilchen hinwegzuschaffen, welche letzteren auch von den übrigen Theilen, namentlich vom Conductor zu entfernen sind.

Die Wirksamkeit einer Elektrisirmaschine schätzt man nach der Menge der Elektricität, welche durch eine gewisse Anzahl von Umdrehungen des geriebenen Körpers entwickelt werden kann. Dieselbe hängt außer von der Güte des Glases und der Reibzeuge, der völligen Isolirung und dergl. auch noch wesentlich von der Größe und Gestalt der die Elektricität aufnehmenden Leiter ab. Mit Vergrößerung des Conductors nimmt allerdings auch die Elektricitätsmenge zu, welche während der Thätigkeit der Maschine auf demselben gesammelt werden kann; da aber

sowohl durch die Luft als auch, wenigstens anfänglich, durch die isolirenden Träger ein Verlust stattfindet, welcher mit zunehmender Spannung wächst, so tritt bei unverhältnißmäßiger Größe des Conductors bald ein Zeitpunkt ein, wo der Verlust an der Oberfläche des Conductors so groß ist, als die Quantität der Elektricität, welche ihm von dem Glase zugeführt wird. Darum darf die Größe des Conductors eine gewisse Grenze nicht überschreiten, welche für jede Maschine besonders bestimmt werden muß. Im Allgemeinen nimmt man, jedoch nicht ganz erfahrungsmäßig an, daß die Oberfläche des Conductors nicht größer sein dürfe, als die geriebene Fläche des Glases, so daß das Maximum der Spannung und Ladung durch eine volle Umdrehung sich erreichen lasse. Was die Gestalt des Conductors betrifft, so ist bereits bemerkt, daß derselbe eine völlig abgerundete Oberfläche haben, also frei sein müsse von Spitzen und dergl., welche das Aus- oder Einströmen der Elektricität in so hohem Grade begünstigen. Außerdem weiß man, daß die Elektricität an den Enden eines cylinderförmigen Leiters viel stärker, als in der Mitte desselben angehäuft ist und zwar so, daß nach Coulomb die Dicke der elektrischen Schicht an den Enden zu der in der Mitte wie 2,3 : 1 sich verhält, wenn nämlich der Cylinder beiderseits in Halbkugeln endet. Auch lehrt die Erfahrung, daß solche cylinderförmige Leiter die längsten Funken an den Enden, die kleinsten aber in der Mitte geben. Die Größe des Funkens und der Schlagweite kann beträchtlich vermehrt werden, wenn man in das von der Maschine abgewendete Ende des Conductors einen etwa 2 Linien dicken Draht einsteckt, der in eine verhältnißmäßig nicht zu kleine Kugel endet. Bei den kugelförmigen Conductoren der oben beschriebenen van Marum'schen Maschine sind derartige Kugeln an Drähten zur Ausziehung des Funkens aus größerer Entfernung angebracht. Uebrigens ist die Stärke des elektrischen Funkens, wie überhaupt die Wirkung der übergehenden Elektricität bedingt durch ihre Spannung und Menge.

Die Wirksamkeit einer Maschine nach der Größe und Intensität des Funkens, welchen sie giebt, oder nach der Dicke und Länge der Feuerbüschel zu bestimmen ist in sofern mißlich, als hierbei mancher Nebenumstand von Einfluß ist, wie namentlich die Gestalt und Größe des Conductors, der Durchmesser der den Funken ausziehenden und der den Funken gebenden Kugel. Wenn man also aus der Beschaffenheit des Funkens die Wirksamkeit der Maschine beurtheilen will, so müssen die Durchmesser dieser Kugeln angegeben werden. Zuverlässiger bestimmt man diese Wirksamkeit durch die Anzahl der Umdrehungen, welche erfordert werden, um eine Leidner Flasche oder Batterie zum Selbstentladen zu bringen, oder dadurch, daß man den Inhalt der Glasfläche ermittelt, welche gerieben werden muß, um die volle Ladung eines oder mehrerer Quadratfuße Belegung zu bewirken *).

Will man den menschlichen Körper in einen bestimmten elektrischen Zustand versetzen, so muß man ihn natürlich isoliren und dann mit dem positiven oder negativen Conductor der Maschine leitend verbinden. Diese Art der Einwirkung der Elektricität auf den Körper nannte man früher das elektrische Bad. Wir haben im Art. Elektricität angeführt, daß man die Maschinenelektricität schon in den früheren Zeiten mit mehr oder weniger Erfolg gegen Krankheiten verschiedener Art angewendet habe. Obgleich man nun gegenwärtig vorzugsweise von der

*) Siehe d. Art. Flasche.

inducirten Elektricität medicinischen Gebrauch macht, so wird es doch nicht ganz überflüssig sein, wenn wir hier die Art und Weise, wie man die Elektrisirmaschine zu medicinischen Zwecken benutzt, kurz auseinander setzen.

Wenn der menschliche Körper nicht isolirt mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbunden ist, so wird das gestörte elektrische Gleichgewicht in jedem Moment vom Erdboden aus wieder hergestellt, und der Körper hat dann keine merkliche Empfindung von der ihn gleichsam durchströmenden Elektricität. Man kann aber auch einen Theil des menschlichen Körpers, auf den gewirkt werden soll, zwischen zwei Leiter einschließen, von denen der eine mit dem positiven, der andere mit dem negativen Conductor in Verbindung steht. Diese elektrische Strömung soll sich namentlich bei stockender oder träger monatlicher Reinigung wirksam erweisen, wenn der eine Zuleiter in die Gegend der Lendenwirbel, der andere in den Schooß der Kranken gelegt wird. Wenn man die Elektricität vermittelst Spitzen auf empfindliche Theile des menschlichen Körpers längere Zeit einwirken läßt, so entsteht das Gefühl einer leichten Wärme, und im Auge wird dadurch die Absonderung der Drüsen vermehrt. Diese Spitzenwirkung nennt man den elektrischen Hauch, bei dessen Anwendung man sich besonderer Leitungsstäbe oder Directoren bedient, nämlich gerader oder umgebogener metallener Stäbe an isolirenden Handgriffen. Dieselben sind mit einem Haken versehen, um den Zuleitungsdraht vom Conductor einzuhängen, und an ihrem Ende können mehr oder weniger scharfe Spitzen von Metall oder Holz aufgeschraubt werden. Je feiner die Spitzen, desto milder ist die Wirkung, und am wirksamsten zeigen sich Spitzen von nicht zu trocknem Holze. Mit den Metallspitzen pflegt man aber, eben ihrer sanfteren Wirkung wegen, die Kur zu beginnen. Mitunter befeuchtet man auch noch die hölzerne Spitze mit flüchtigen Stoffen, z. B. Kampferspiritus, oder bringt vor die Metallspitzen ein kleines mit einer solchen Flüssigkeit genetztes Schwämmchen, um die von der ausströmenden Elektricität mit fortgerissenen feinen Theilchen der Flüssigkeit zugleich mit an den leidenden Theil zu bringen. Will man die Elektricität auf das Innere des Mundes oder des Gehörganges wirken lassen, so gebraucht man einen Draht, der in einer Glasröhre eingeschlossen ist. Einfache elektrische Funken oder Schläge lassen sich mittheilen, wenn man an den erwähnten Director eine Kugel schraubt und diese dem leidenden Theile nähert, während der Leitungsstab an dem anderen Ende mit dem Conductor in Verbindung steht. Bei dem sogenannten Ausziehen des Funkens wird der Kranke isolirt und mit dem Conductor, jener Stab aber mit dem Erdboden in leitende Gemeinschaft gesetzt. Der leidende Theil, den man hierbei gewöhnlich entblößt, wird häufig mit Flanell bedeckt und dann mit der Kugel des Directors darüber hin und hergefahren. Auf diese Weise erhält der leidende Theil eine Menge kleiner Funken, welche die Haut reizen und besonders gegen Rheumatismen wirksam sein sollen. Bei sehr empfindlichen Theilen des Körpers bedient man sich meist nur abgerundeter Drähte, weil der Funken im Allgemeinen mit der Größe der Kugel wächst und abnimmt. Stärkere elektrische Schläge giebt man aus der Leidner Flasche, und da es bei der medicinischen Anwendung auf eine bestimmte Stärke des Schlages ankommt, so bedient man sich zweckmäßig des Lane'schen Ausladers (s. d. Art. Auslader Bd. I. S. 641 ff.).

Wir haben im Art. Elektricität die Thatsache hervorgehoben, daß bei der Reibung von Wassertheilchen an festen Körpern, so namentlich beim Ausströmen

des Dampfes aus Röhren, eine Elektricitätsentwickelung stattfindet, die man zur Construction einer großartigen Elektrisirmaschine benutzt hat. Man nennt dieselbe Hydroelektrisirmaschine und wird ihre Beschreibung in dem Artikel dieses Namens finden.

Elektrode, s. Galvanismus.

Elektrodynamik, s. Elektromagnetismus.

Elektrodynamometer, s. Elektromagnetismus.

Elektrographie, s. Telegraphie.

Elektrolyt, s. Galvanismus.

Elektromagnet, s. Elektromagnetismus.

Elektromagnetismus bezeichnet den Inbegriff aller magnetischen Erscheinungen, welche durch bewegte Elektricität bewirkt werden, und die also überall auftreten, wo entgegengesetzt elektrische Zustände sich in einem Leiter und zwar in jedem Massentheilchen desselben ausgleichen. Zur Darstellung dieser Erscheinungen wendet man gewöhnlich die galvanische Elektricität an; es kann dazu aber auch jede andere Elektricitätsquelle unter geeigneten Umständen benutzt werden; so die Reibungselektricität, die Thermoelektricität (s. d. Art.), die atmosphärische Elektricität, die Magnetelektricität oder überhaupt die sogenannte Inductionselektricität.

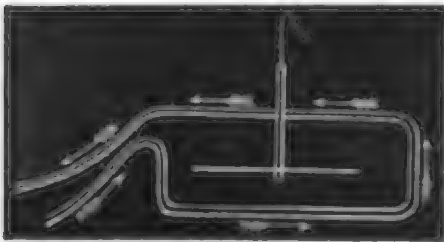
Obwohl man schon früher eine Einwirkung starker elektrischer Ströme auf Magnetnadeln beobachtet hatte, so war es doch zuerst Oersted *), der im Jahre 1820 die thatsächlichen Beziehungen zwischen Elektricität und Magnetismus zum deutlichen Bewußtsein brachte. Führt man nämlich den Schließungsdraht einer kräftigen galvanischen Kette (deren Platten eine große Oberfläche darbieten) an einer leicht beweglichen Magnetnadel vorüber, so wird diese aus ihrer Gleichgewichtslage abgelenkt, und zwar so lange, als die Kette geschlossen bleibt. Es sei der Schließungsdraht im magnetischen Meridian ausgespannt und der sogenannte positive Strom habe die Richtung von Süd nach Nord. Hat man nun eine horizontal schwebende Magnetnadel, so wird ihr positiver Pol oder ihr Nordende oberhalb des Stromes nach Ost, unterhalb desselben nach West abgelenkt. Ist aber die Nadel seitwärts vom Drahte, mit diesem in einerlei Horizontalebene, angebracht, so verändert sich nicht ihre Declination, sondern ihre Neigung, so daß ihr Nordende auf der Ostseite des Drahtes nach unten, auf der Westseite desselben nach oben zeigt. Diese Ablenkungen geschehen im entgegengesetzten Sinne, wenn die Richtung des elektrischen Stromes umgekehrt wird, also von Nord nach Süd geht. Ueberdies zeigt der Schließungsdraht seiner ganzen Länge nach in jedem Querschnitte eine magnetische Wirksamkeit von gleicher Stärke, was einfach daraus hervorgeht, daß keine Ablenkung der Magnetnadel erfolgt, wenn man den Draht so umbiegt, daß der zurücklaufende Arm mit dem vorwärtsgehenden, ohne diesen zu berühren, parallel ist. Hier heben sich also die von beiden Armen ausgehenden magnetischen Wirkungen auf, da sie der Größe nach gleich, in Bezug auf die Richtung aber entgegengesetzt sind.

Um die Beziehung zwischen der Richtung der Ablenkung und der Richtung des Stromes jederzeit leicht übersehen zu können, dient folgende einfache Regel von Ampère. Der Beobachter denke sich selbst oder eine kleine menschliche Figur

*) Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam.

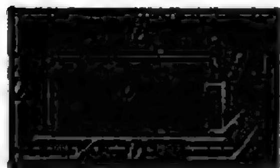
innerhalb des Schließungsdrahtes so, daß der Strom bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt. Ist dann das Gesicht der Magnetnadel zugekehrt, so erscheint ihr Nordende stets nach der Linken abgelenkt. Befindet sich die Nadel unterhalb des Stromes, so ist das Auge natürlich abwärts gekehrt. Für das Südende der Nadel geschehen die Ablenkungen im entgegengesetzten Sinne, und man erkennt, daß der Schließungsdraht durch seine Einwirkung auf die beiden Pole der Nadel der letzteren eine Stellung zu ertheilen sucht, deren Richtung auf der seinigen senkrecht ist. Diesem Bestreben wirkt aber der Erdmagnetismus entgegen, indem er die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen sucht.

Giebt man dem Schließungsdrahte die Form eines länglichen Rechtecks, innerhalb dessen die Magnetnadel schwebt, so wird diese durch den oberen und unteren Arm in demselben Sinne abgelenkt, da ein und derselbe Strom diese Drahtstücke in entgegengesetzten Richtungen und zu zwei Seiten der Nadel durchfließt. Läßt man daher den Leitungsdraht in vielfachen Windungen um die Nadel, parallel mit der Ebene ihres Meridians, herumgehen, so wirken alle in gleicher Weise auf die Nadel, und die ablenkende Kraft des Stromes ist dann der Anzahl der Windungen nahezu proportional. Auf diesem Princip beruht der Multiplicator oder das Galvanometer (s. d. Art.). Wesentlich ist hierbei, daß die Elektricität sich nicht seitlich von einer Windung auf die andere verbreite, weshalb der als Schließungsbogen dienende Kupferdraht in der Regel mit Seide übersponnen ist. Die Empfindlichkeit dieses Apparates läßt sich noch bedeutend erhöhen, wenn man anstatt einer einfachen Nadel eine astatische Nadel anwendet. Zwei gleich große und so viel möglich auch gleich starke Magnetnadeln werden nämlich an einer gemeinschaftlichen verticalen Axe parallel zu einander so befestigt, daß ihre Pole entgegengesetzt gerichtet sind, und also ihre ungleichnamigen Pole einander gegenüber liegen. Die eine Nadel befindet sich über, die andere zwischen den Windungen, und der Strom, welcher die Windungen durchfließt, lenkt beide Nadeln nach derselben Seite hin ab. Eine solche astatische Nadel stellt sich schon bei mäßiger Stromkraft senkrecht gegen die Axe des Schließungsdrahtes, da der Einfluß des Erdmagnetismus, indem derselbe auf beide Nadeln im entgegengesetzten Sinne wirkt, größtentheils beseitigt ist, und zwar um so mehr, je geringer der Unterschied der magnetischen Kräfte beider Nadeln und je genauer der Parallelismus ihrer Axen ist.



Einer der einfachsten Apparate zur Darstellung der elektromagnetischen Fundamentalerscheinungen ist eine einfache Kette aus zwei etwa 1 Quadratfuß großen Platten von Zink und Kupfer, welche durch eine mit irgend einer sauren oder salzigen Flüssigkeit getränkte und dazwischen gelegte Tuchscheibe gleicher Größe von einander getrennt, auf eine isolirende Unterlage, z. B. eine Glasscheibe, gelegt und durch ein Gewicht etwas zusammengepreßt werden. Diese Platten werden dann durch einen mehrere Fuß langen Draht mit einander in Verbindung gesetzt. Eben so einfach ist umstehender Apparat. Auf dem einen Ende eines Zinkstreifens B C D, der, wie die Figur zeigt, dreimal rechtwinklig umgebogen ist, ruht ein kupferner Trog A, welcher mit einer Säure gefüllt ist. In die letztere taucht das andere Ende

des Zinkstreifens, ohne aber das Kupfer zu berühren. Bei a und b sind Spitzen angebracht, auf welche Magnetnadeln aufgesetzt werden können, während bei c eine Magnetnadel an einem Faden zwischen dem oberen und unteren Theile des Zinkstreifens hängt. Hat nun der Strom die durch die Pfeile angegebene Richtung, und befinden sich die horizontalen Theile des Zinkstreifens in der Richtung des magnetischen Meridians, so geschieht die Ablenkung der Nadeln nach dem oben angeführten Gesetze. Auch hier kann man, wenn der obere Zinkstreifen einen Einschnitt hat, ein astatisches Nadelpaar zu Hülfe nehmen, indem man die eine Nadel über, die andere unter den Strom bringt.



Wenn man den oberen Zinkstreifen in die Richtung des magnetischen Aequators, also senkrecht gegen die gewöhnliche Richtung der Magnetnadel stellt, so erfolgt keine Ablenkung der Nadel, da hier der Erdmagnetismus und der Strom in demselben Sinne richtend auf die Magnetnadel wirken, vorausgesetzt jedoch, daß der über die Magnetnadel hinweggehende Strom von West nach Ost oder der unter der Nadel befindliche Strom von Ost nach West fließt. Bringt man die Nadel bei dieser Stellung des Apparates aus ihrer Lage heraus, etwa durch Annäherung eines Magneten oder eines Stückes Eisen, so kehrt sie, nach Wegfall des störenden Einflusses, durch eine Reihe von Schwingungen in die anfängliche Stellung zurück. Diese Schwingungen geschehen schneller, als wenn die Nadel unter dem alleinigen Einfluß des Erdmagnetismus steht, woraus dann folgt, daß hier noch eine andere Kraft, und zwar eine solche, welche vom Schließungsdrahte ausgeht, auf sie einwirkt. Diese Kraft sucht die Nadel immer so zu richten, daß das Nordende der letzteren links vom elektrischen Strome zu liegen kommt. Hat der Strom zwar die Richtung des magnetischen Aequators, aber so, daß er über der Nadel von Ost nach West und unter der Nadel von West nach Ost geht, so erleidet eine genau im magnetischen Meridian aufgehängte Magnetnadel auch keine Ablenkung, da hier der Erdmagnetismus dem Strome gerade entgegenwirkt. Dieses Gleichgewicht ist aber nicht von Dauer; denn sobald die Ruhe der Nadel durch einen äußeren Einfluß gestört wird, dreht sie sich so lange um, bis ihr Nordpol links vom Strome steht. Dann erst befindet sich die Nadel im Zustande des stabilen Gleichgewichtes, indem sie, aus dieser Lage herausgerückt, wieder durch eine Reihe von Schwingungen in dieselbe zurückkehrt.

Die Kraft, womit der Schließungsdraht auf einen Magnetpol wirkt, hängt sowohl von der Stromstärke (s. Galvanismus) als auch von dem freien Magnetismus des Pols ab; sie steht mit beiden im directen Verhältnisse. Außerdem nimmt diese Kraft um so mehr ab, je weiter die Nadel vom Schließungsdrahte entfernt wird. Biot *) und Savart fanden aus den Schwingungszeiten von Magnetnadeln, die in verschiedenen Entfernungen vom Schließungsdrahte oscillirten, das Gesetz, daß die Kraft, womit ein langer gerader Schließungsdraht auf einen Magnetpol wirkt, im umgekehrten einfachen Verhältnisse mit der Entfernung dieses Poles vom Drahte steht **). Dasselbe ergiebt sich auf dem Wege der

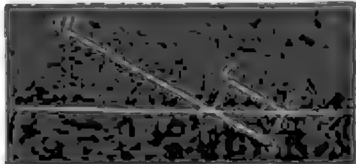
*) Précis élémentaire de physique exp. Par. 1824. T. II. p. 707. Gilb. Ann. Bd. LXVI. S. 392.

**) Die bewegenden Kräfte verhalten sich nämlich, den Gesetzen des Pendels zufolge,

Rechnung unter der Voraussetzung, daß die Wirkung jedes einzelnen Stromtheilchens auf einen Magnetpol oder überhaupt auf ein magnetisches Element dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional sei.

Aus der Art und Weise aber, wie der Schließungsdraht den Magnetpol der Nadel aus der Ruhelage ablenkt, tritt die wohl zu beachtende Thatsache hervor, daß die durch den elektrischen Strom veranlaßte magnetische Kraft nicht längs der Verbindungslinie des elektrischen Theilchens mit dem magnetischen wirkt, sondern senkrecht gegen diese Linie oder senkrecht gegen die Ebene, welche man sich durch das Stromtheilchen (im Sinne seiner Bewegung) und das magnetische Theilchen gelegt denken kann. So wird der Nordpol einer frei beweglichen Magnetnadel links von dieser Ebene, der Südpol dagegen rechts von derselben abgelenkt. Die Richtung der magnetischen Kraftäußerung des Drahtes ist hiernach parallel mit der Schwingungsebene der Nadel.

Wenn die Richtung des Stromtheilchens ds mit der zu dem magnetischen Theilchen m gehenden Verbindungslinie einen Winkel α macht, so läßt sich die Wirkung immer in zwei Theile se und sf zerlegt denken, von denen der erste auf der Linie sm senkrecht stehend, den Magnetpol m zu bewegen strebt während der andere $sf = ds \cos \alpha$, mit der genannten Linie zusammenfallend, bezüglich des Poles m unwirksam bleibt. Man sieht also, daß der wirksame Theil $se = ds \sin \alpha$ eines Stromelements, dessen Bewegungsrichtung mit seinem Abstande vom Magnetpol den Winkel α einschließt, im directen Verhältniß mit dem Sinus dieses Winkels steht.



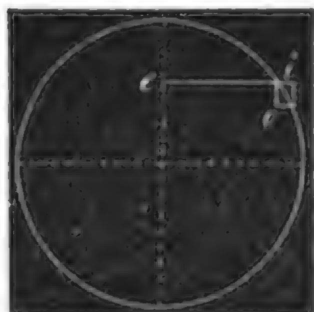
Ueberhaupt läßt sich die Wirkung, welche ein geradliniger oder krummliniger Stromleiter auf eine horizontale Magnetnadel ausübt, im Voraus bestimmen, wenn man die bewegende Kraft eines jeden Stromelements in drei Seitenkräfte zerlegt, von denen die eine rechtwinklig gegen die Schwingungsebene der Nadel steht, während die beiden anderen in diese Ebene fallen. Die erste ist ohne Einfluß auf die Stellung der Nadel und die beiden letzteren wirken einander entgegen, wobei die eine, welche in die Richtung des magnetischen Meridians fällt, die Wirkung des Erdmagnetismus unterstützt. Die Summe der anderen endlich, welche senkrecht gegen den magnetischen Meridian der Nadel stehen, giebt die Größe der ablenkenden Kraft des ganzen Stromleiters.

Hat der Stromleiter die Form eines Kreises, dessen Ebene in die des magnetischen Meridians fällt, so wirkt derselbe auf eine kleine Magnetnadel, die in der Axe des Stromes, d. h. in der durch den Mittelpunkt des letzteren gehenden und auf seiner Ebene senkrecht stehenden Graden beweglich ist, wie ein in dieser Axe liegender Magnetstab, dessen Nordpol links von der Richtung des Stromes liegt. Dabei ist die Entfernung der Mitte des Stabes von dem Mittelpunkt der Nadel gleich dem Abstand des letzteren vom Kreisumfange des Schließungsdrahtes, der mit dem Stabe gleiches magnetisches Moment hat. Dieses letztere kann aber durch $\pi r^2 s$ dargestellt werden, wenn r den Radius des Kreisstromes und s die Stromstärke bezeichnet, wie sich leicht ergiebt, wenn man sich die magnetische Kraft eines

umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten oder direct wie die Quadrate der Anzahl der Schwingungen, welche ein und dieselbe Nadel in verschiedenen Entfernungen vom Schließungsdrahte in derselben Zeit vollendet.

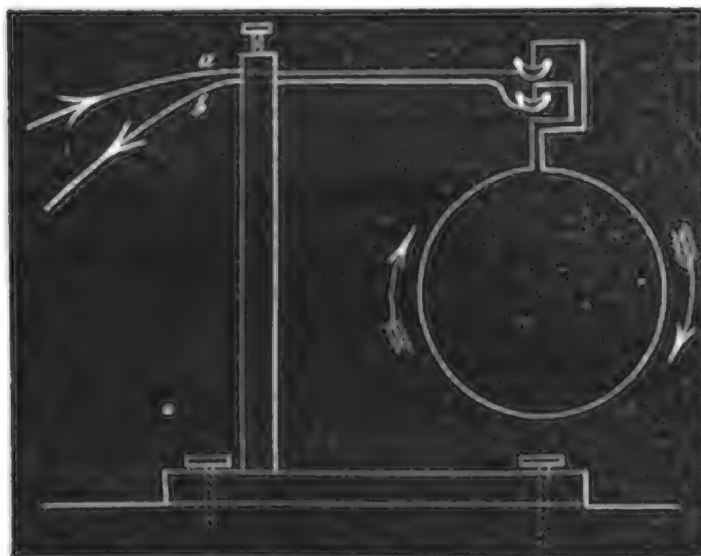
Stromelementes in zwei Seitenkräfte zerlegt denkt, von denen die eine mit der Richtung des Erdmagnetismus zusammenfällt und in sofern wirkungslos ist, während der anderen wirksamen Seitenkraft das Moment i o . i e zukommt. Die Summe dieser wirksamen Seitenkräfte ist aber jedenfalls gleich dem Flächeninhalte des vom Strom umflossenen Kreises. Ein kreisförmig elektrischer Strom verhält sich also überhaupt wie ein geradliniger Magnetstab, auf dessen Ebene die des Kreises senkrecht steht, indem die beiden gegenüberliegenden Seitenflächen desselben in dem Verhältniß eines Nord- und Südpols zu einander stehen. Befindet sich eine kleine Magnetnadel innerhalb eines solchen Kreises, so daß deren Mitte mit dem Mittelpunkte desselben zusammenfällt, so erfährt sie von allen Punkten des Stromes dieselbe Einwirkung.

I.



Ein kreisförmig gebogener Schließungsdraht, der an seinen Enden mit Stahlspitzen versehen ist, werde an einem Gestelle so angebracht, daß die eine Stahlspitze auf dem Boden des einen Quecksilbernäpfchens und zwar auf einem daselbst befindlichen Glasplättchen ruht, während die andere Spitze eben nur in das Quecksilber des zweiten Näpfchens taucht. Setzt man nun die Drähte a und b, welche von einander isolirt sind und an ihren Enden die erwähnten Quecksilbernäpfchen tragen, mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung, so geht der Strom von dem einen Näpfchen durch den kreisförmigen Draht zum anderen und von da zur Kette zurück. Nach einigen Schwankungen stellt sich der Kreis so, daß seine Ebene den magnetischen Meridian rechtwinklig durchschneidet, und dabei ist der positive Pol des kleinen Magneten, welcher durch den Kreisstrom vertreten wird, nach Norden gerichtet. In diesem Falle, wo der sogenannte positive Strom in dem unteren Theil des kreisförmigen Schließungsdrahtes von Ost nach West geht, ist das Gleichgewicht ein stabiles. Ist dagegen die andere Seite des Drahtes, welche den negativen Pol vorstellt, nach Norden gekehrt, so findet zwar noch Gleichgewicht statt, wenn die Ebene des Leiters zum magnetischen Meridian senkrecht ist, aber dasselbe ist kein dauerndes, indem der Draht bei einer geringen Ablenkung aus dieser Stellung sich völlig umdreht, um in jene Lage des stabilen Gleichgewichtes einzutreten.

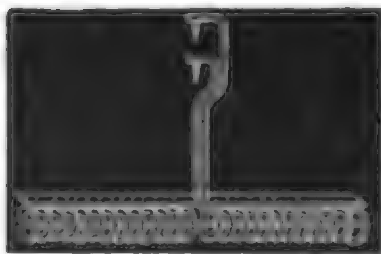
II.



Die Wirkung wird gesteigert, wenn man dem Schließungsdrahte die Form einer Schraube giebt, deren einzelne Windungen nahezu Kreise darstellen. Bringt man die Spitzen in die Quecksilbernäpfchen des obigen Gestelles, so stellen sich

sämmtliche Kreisebenen senkrecht gegen den magnetischen Meridian, so daß die Axe der Schraube in denselben zu liegen kommt und also die Richtung einer Declinationsnadel annimmt. Nähert man den Pol eines Magnetstabes dem einen oder anderen Ende der von der Elektricität durchflossenen Schraube, so erfolgt eine ganz ähnliche Einwirkung, wie zwischen zwei geradlinigen Magnetstäben. Eine solche Schraube kann nun rechts oder links gewunden sein. Befindet sich eine kleine Magnetnadel in der Axe einer rechts gewundenen Schraube, so kehrt sie ihr Nordende dorthin, wo der sogenannte positive Strom austritt, während dasselbe Ende in einer links gewundenen Spirale dahin weist, wo der Strom eintritt. Obschon ein solcher schraubenförmiger Stromleiter fast alle Eigenschaften eines gewöhnlichen Magnetstabes zeigt, so ist doch sein magnetisches Moment nicht wie bei diesem abhängig von der Länge, sondern nur von der Stromstärke, der Größe und Anzahl der Windungen. Ein elektrodynamischer Schraubendraht äußert seine stärkste Wirkung in der Mitte, ein gewöhnlicher geradliniger Magnetstab in der Nähe seiner beiden Enden. Diesen Unterschied hat Poggendorff *) wahrnehmbar gemacht. Schiebt man nämlich in einen vertical gehaltenen hohlen Magnetstab, der ungefähr 3 Zoll lang, $2^1/_2$ Linie weit und mit einer dünnen Glasröhre ausgefüttert ist, eine leichte etwa 9 Linien lange Magnetnadel von oben vorsichtig hinein, so fällt dieselbe nicht hindurch, sondern ragt freischwebend noch zum Theil aus dem Magneten hervor. Drückt man sie tiefer hinab, so steigt sie nach Aufhörung des Druckes, in die Höhe, um ihre vorige Stellung wieder einzunehmen. Wird dagegen die Nadel in eine von der Elektricität durchströmte Drahtspirale gebracht, so geht sie sogleich bis zur Mitte, wo sie bei einem hinreichend kräftigen Strome schweben bleibt.

I.



Biegt man den Schließungsdraht in die Form einer Spirale, deren ungleiche Windungen alle in einer und derselben Ebene liegen, so erscheint dieselbe von der einen Seite angesehen rechts (schraubenrecht), von der anderen Seite betrachtet aber links gewunden. Tritt nun der Strom bei einer solchen ebenen Spirale in der Mitte ein, so zeigt eine darüber schwebende horizontale Magnetnadel mit ihrem Nordende nach der Mitte, mit ihrem Südende nach dem Umfange, während auf der anderen (linksgewundenen) Seite das Umgekehrte geschieht.

Um die Richtkraft zu zeigen, welche der Erdmagnetismus auf elektrische Stromleiter ausübt, kann man auch eine Vorrichtung von de la Rive benutzen. In einer Korkscheibe ist ein Stück Zink Z und ein Stück Kupfer K befestigt, welche beide durch einen Kupferdraht b mit einander verbunden sind, dem man verschiedene Formen geben kann. Setzt man die Korkscheibe auf Wasser, welches mit Schwefelsäure vermischt ist, so entsteht ein Strom, der als sogenannter positiver hier von Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer und von da durch den Draht geht. Sobald nun der Strom circulirt, nimmt diese Vorrichtung eine Stellung an, welche der Einwirkung des Erdmagnetismus entspricht.

II.



*) Poggend. Ann. Bd. LII. S. 386.

indem die Ebene des Schließungsdrahtes sich senkrecht auf den magnetischen Meridian stellt. Hat der Draht die Form der oben betrachteten cylinderförmigen Spirale, so nimmt deren Axe die Richtung der horizontalen Magnetnadel an.

Will man einen beweglichen Stromleiter vom Einflusse des Erdmagnetismus unabhängig machen, so kann man jenem die in der beistehenden Fig. I. bezeichnete Form geben, welche aus zwei Rechtecken besteht. Die Drähte gehen da, wo sie umgebogen erscheinen, durch eine isolirende Substanz hindurch, und die Spitzen l und k werden wieder in die Quecksilbernäpfchen des Gestelles (Fig. II. S. 785) gebracht. Hier wird nun die Wirkung des Erdmagnetismus auf jede Seite des einen Rechtecks durch die Wirkung desselben auf die entsprechende Seite des anderen Rechtecks aufgehoben. Ein solches von Ampère eingeführtes astatisches Rechteck ist geeignet, um die Einwirkung fester Magnetstäbe auf bewegliche Stromleiter zu verdeutlichen. Bringt man den einen Pol eines Magnets in die Nähe des Drahtes g h nach n, so wird der Stromleiter senkrecht gegen die durch g h und n bestimmte Ebene abgelenkt. Dasselbe geschieht, nur im entgegengesetzten Sinne, wenn man denselben Pol auf die andere Seite des Drahtes g h nach s bringt. Befinden sich in n und s zwei ungleichnamige Pole, z. B. die Pole eines Hufeisenmagnets, so werden dieselben dem Drahte g h eine Bewegung in gleichem Sinne zu ertheilen streben, deren Richtung sowohl von der Lage der Pole als auch von der Bewegungsrichtung des Stromes abhängig ist. Hat der letztere die Richtung der Pfeile und liegt der Nordpol bei n, so dreht sich der Leiter zur Rechten.

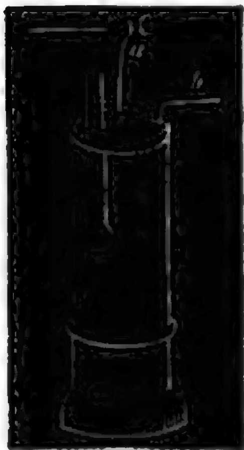
I.



Elektromagnetische Rotationserscheinungen.

Aus der Art und Weise, wie die Pole einer Magnetnadel auf den verschiedenen Seiten eines Stromleiters abgelenkt werden, ergiebt sich, daß diese Pole das Bestreben haben, in entgegengesetzten Richtungen um den Stromleiter zu rotiren. Um eine solche Drehung wirklich hervorzubringen, kommt es nur, wie leicht einzusehen, darauf an, daß man den Magneten hinreichend beweglich macht und den Stromleiter blos auf den einen Pol wirken läßt. Nach Faraday *) kann man diese Erscheinung auf folgende Weise darstellen. Ein Glasgefäß, dessen inneren Rand ein metallener Ring umgiebt, ist bis zu dem letzteren mit Quecksilber gefüllt. Durch einen verticalen Draht a geht der elektrische Strom zur Mitte der Quecksilberfläche, von wo er sich rings nach dem Rande verbreitet, um von diesem vermittelst des Drahtes b nach dem anderen Pole einer Kette zu gehen. Im Quecksilber steht man einen Magnetstab, welcher durch eine unten an ihm

II.

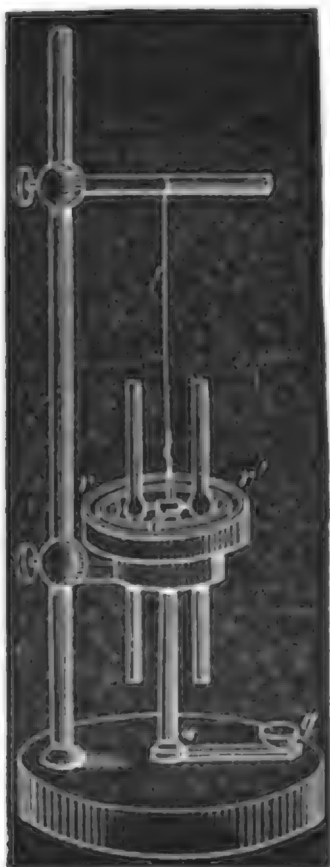


*) Gilb. Ann. Bd. LXXI. S. 139.

befestigte Platinmasse in verticaler Stellung schwimmend erhalten wird. Denkt man sich nun eine kleine menschliche Figur in der Richtung des Stromes, so daß dieser bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt, so rotirt der Magnet, wenn das Gesicht gegen ihn gekehrt ist, von der Linken gegen die Rechte oder im entgegengesetzten Sinne, je nachdem der Nord- oder Südpol sich oben befindet. Geht dagegen der Strom vom Rande nach der Mitte des Quecksilbers und von hier aufwärts durch das Drahtstück a, so geschieht die Drehung bei aufgerichtetem Nordpol von der Rechten nach der Linken und im umgekehrten Sinne, wenn der Südpol oben befindlich ist.

Auch der folgende Ampère'sche Apparat zeigt die Rotation eines Magneten um einen festen Stromleiter. Ein Kupferstab s, welcher durch das Quecksilbernäpfchen q mit dem einen Pol einer galvanischen Kette verbunden ist, führt zur Mitte einer kreisförmigen Rinne r r', welche mit reinem Quecksilber gefüllt ist und mit dem anderen Pol der Kette in Verbindung steht. Zwei Magnete, welche durch einen Querstab fest mit einander verbunden und deren Nord- oder Südpole nach oben gekehrt sind, hängen an einem Seidenfaden s'. Der Querstab ist in seiner Mitte mit einem Metallstifte versehen, dessen Spitze in eine mit Quecksilber gefüllte Vertiefung des Stabes s taucht. Von der Mitte des Querstabes geht senkrecht zu seiner Richtung ein horizontales Leitungsstäbchen aus, das mit seiner etwas gekrümmten Spitze das Quecksilber in der Rinne berührt. Der Strom geht nun entweder vom Näpfchen q durch den Stab s und das eben erwähnte Stäbchen in das Quecksilber der Rinne, um von hier durch einen Draht zu dem anderen Pol der Kette zu gelangen, oder im umgekehrten Sinne. Sobald der Strom im Gange ist, erfolgt auch eine Drehung der Magnete um den Leitungsstab s in der einen oder anderen Richtung. Durch das Zusammenwirken beider Magnete wird hier der Effect vergrößert.

I.



Dieselben Kräfte, welche den Magneten um den Strom bewegen, werden auch umgekehrt im Stande sein, einen beweglichen Leitungsdraht um einen festen Magneten rotiren zu machen. Dies läßt sich nach Faraday *) darthun, wenn man in eine an beiden Enden durch Kork geschlossene Glasröhre unten ein Eisenstäbchen a steckt, der über den Kork ziemlich weit hervorsteht, den Boden mit Quecksilber bedeckt und in dasselbe einen Draht b gehen läßt, welcher unten ein kleines Knöpfchen von Glas trägt, das die Berührung zwischen b und a verhindert. Der Draht b ist oben in den Haken eines anderen Drahtes eingehängt, der mit dem einen Pole einer Volta'schen Säule in Verbindung steht, während das Quecksilber am Boden der Röhre mit dem anderen Pole der Säule durch den Draht c verbunden ist. Wenn nun der Strom circulirt und ein Magnet an das äußere Ende von a

II.

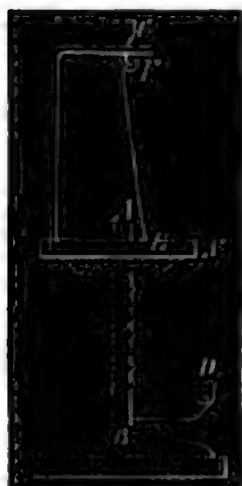


*) Ann de chim. et phys. T. XVIII. p. 337. Gilb. Ann. Bd. LXXI. S. 133.

gehalten wird, um es durch Vertheilung zu magnetisiren, so rotirt der Draht b um den Pol a (innerhalb der Röhre). Wird der letztere umgekehrt oder die Richtung des elektrischen Stromes geändert, so ändert sich damit auch die Richtung der Rotation.

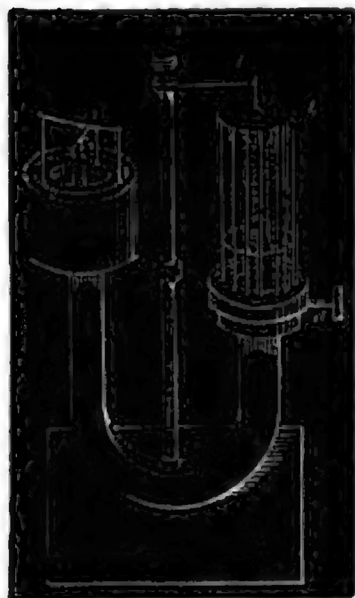
Sturgeon hat diesem Apparate eine etwas andere Einrichtung gegeben, indem er den Eisenstab AB mit einem Kupferdraht umwand, welcher in das Quecksilbergefäß N reichte. Werden nun die Poldrähte einer Säule in die leitenden Quecksilbernäpfe D und C getaucht, so wird der Eisenstab AB zu einem Elektromagneten und der Leitungsdraht FE rotirt je nach der Richtung des Stromes in dem einen oder anderen Sinne um den Pol A.

I.



Der folgende Apparat *) ist ebenfalls sehr wohl geeignet, um die Drehung des beweglichen Stromleiters um einen festen Magnetpol zu zeigen. Auf einem Holzbrette, das noch mit Stellschrauben versehen sein kann, ist ein Hufeisenmagnet vertikal befestigt. An dem einen Schenkel desselben (rechts) ist eine hölzerne Rinne a angebracht, die sich auf- und nieder schieben, vermittelst einer Schraube aber feststellen läßt. Eine Anzahl von dünnen Kupferstäben, die nahe am Rande einer Kupferscheibe b befestigt sind, bilden ein leicht bewegliches System, indem an der unteren Fläche der Scheibe und zwar in ihrer Mitte eine Stahlspitze befindlich ist, die in einer flachen Vertiefung auf der Oberfläche des Magnetpols ruhet. Auf der oberen Seite der Kupferscheibe ist ein Quecksilbernäpfchen befestigt, in welches das Ende eines Drahtes c eintaucht, der mit dem einen Poldraht einer galvanischen Kette verbunden werden kann. Die Rinne a wird mit reinem Quecksilber gefüllt und so festgestellt, daß die unteren Enden **) der Kupferstäbe dasselbe eben berühren. Wird nun der Draht c mit dem einen, und das Quecksilber in der Rinne mit dem anderen Pole einer galvanischen Kette, etwa eines Zink-Kohlenpaares, verbunden, so dreht sich der bewegliche Leiter je nach der Richtung des Stromes in der einen oder anderen Weise um den Magnetpol.

II.

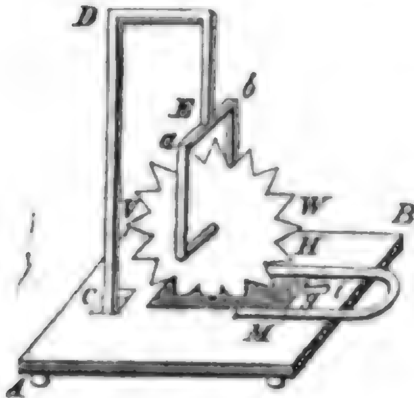


Auf dem anderen Pole desselben Hufeisenmagnets sind die beiden metallischen Elemente einer einfachen galvanischen Kette frei beweglich aufgehängt. Zwei ungleich weite Cylinder aus Kupferblech sind nämlich durch einen ringförmigen Boden verbunden, so daß die beiden Wände derselben einen ringförmigen Raum einschließen, der zum Theil mit verdünnter Schwefelsäure angefüllt wird. In diese taucht, ohne jedoch den Kupfertrog zu berühren, ein amalgamirter Zinkcylinder,

*) Buff's Grundzüge der Experimentalphysik. Heidelberg.

**) Um den Uebergang der Elektricität zu erleichtern, ist es sehr zweckmäßig, dieselben zu amalgamiren.

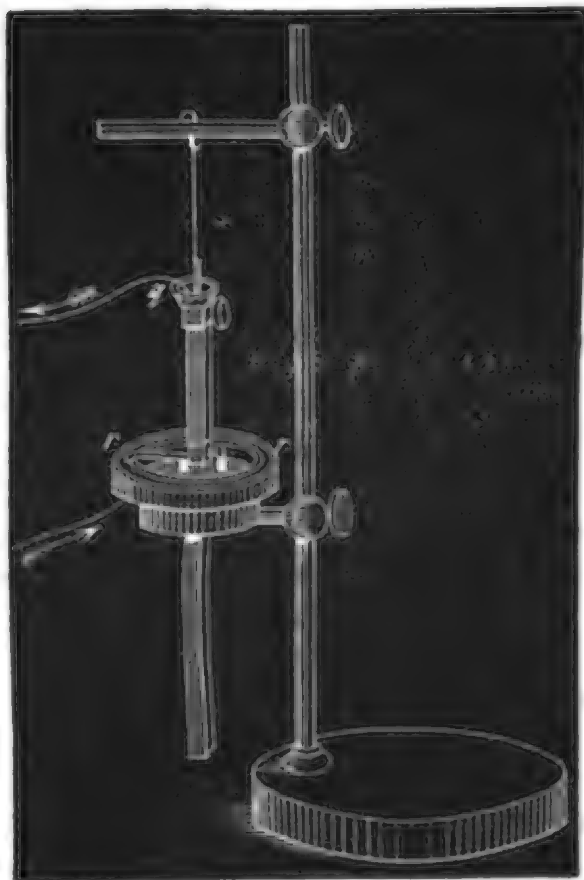
der mit einem kupfernen Bügel oder Rahmen versehen ist, in dessen Mitte sich eine Stahlspitze befindet, welche in ein inwendig verzinntes Näpfchen aus gehärtetem Eisen gestellt wird. Das letztere ist an der oberen Seite eines zweiten kupfernen Rahmens befestigt, der mit dem Kupfertroge in Verbindung steht. Unterhalb dieses Näpfchens hat endlich derselbe Rahmen eine Stahlspitze, vermittelst deren sich der Kupfertrog auf die Oberfläche des Magnetpoles stützt. Der sogenannte positive Strom geht nun vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer rc., und während dies geschieht, drehen sich die beiden Cylinder in entgegengesetzten Richtungen um den Magnetpol. Barlow *) beschrieb zuerst einen Apparat dieser Art, der aber nur dem Zinkcylinder die Drehung gestattete, bis Marsh **) die Beweglichkeit des Kupfercylinders hinzufügte. Auf denselben Gesetzen, wie die vorbetrachteten Rotationserscheinungen, beruht auch das sogenannte Barlow'sche Rädchen ***). An dem Kupferdrahte C D E ist ein gabelförmig gestalteter Draht aus demselben Metall befestigt, der an seinen Enden mit feinen Pfannen versehen ist, in welche die stählernen Axenspitzen des kupfernen Rades V W eingesenkt sind. In der Mitte des Brettes A B befindet sich eine Vertiefung in der Form einer Rinne, welche mit Quecksilber angefüllt ist. In dieses tauchen die amalgamirten Spitzen des Rädchens, zu dessen beiden Seiten die Pole eines starken Hufeisenmagnets liegen. Wenn man nun den Draht C D E mit dem einen Pole und das Quecksilber der Rinne i mit dem anderen Pole einer starken galvanischen Kette verbindet, so läuft das Rädchen mit einer sehr großen Geschwindigkeit um seine Axe. Durch eine Umkehrung der Stromrichtung oder durch einen Wechsel der Magnetpole wird auch die Bewegungsrichtung des Rädchens umgekehrt. Die Fortpflanzung des Stromes von dem einen Pol der Kette zum andern wird durch die Speichen des Rades vermittelt, da immer einige desselben mit dem Quecksilber in Berührung stehen.



Wenn man einen elektrischen Strom durch einen um eine verticale Axe drehbaren Magneten dergestalt leitet, daß er ihn von dem einen Pole an bis zur Mitte durchfließt und dann seitwärts von ihm hinweggeht, so wird der Magnet in eine Rotation um seine eigene Axe versetzt. Hat dagegen der Strom die Richtung von der Mitte nach oben, so geschieht die Drehung im entgegengesetzten Sinne. Die umstehende Figur zeigt, wie sich diese Erscheinung durch den Versuch darstellen läßt. Der Magnetstab geht durch die Mitte einer hölzernen Rinne r r und hängt an einem Seidenfaden, dessen unteres Ende in der Mitte eines Quecksilbernäpfchens befestigt ist, welches von einer oben am Magnetstabe angeschraubten Hülse getragen wird. Von der Mitte des Stabes geht ein leitender Draht in die Quecksilberrinne. Der Strom geht nun entweder aus der letzteren, in welche der eine Poldraht einer Kette eingeführt ist, durch den horizontalen Draht und die obere Hälfte

*) Bibl. univ. T. XX. p. 127.
**) Encyclopaed. Metrop. p. 35.
***) Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 223.

des Stabes nach dem Quecksilbernäpfchen q, das mit dem anderen Poldraht in Verbindung steht, oder den umgekehrten Weg. Fließt der Strom von oben nach der Mitte des Magneten, so dreht sich der letztere wie der Zeiger einer Uhr, wenn der Nordpol oben ist, und im entgegengesetzten Sinne, wenn der Südpol sich oben befindet. Uebrigens kann man auch den Magnetstab an seinen Enden mit Spitzen versehen, vermittelst deren er in Pfannen umlaufen kann.



In flüssigen Leitern kann nach ähnlichen Gesetzen, wie in festen, eine elektromagnetische Drehung hervorgerufen werden. Nach Schweigger geschieht dies am einfachsten, wenn man auf den einen Pol eines starken Magneten ein Uhrglas mit etwas Salpetersäure und Salzsäure setzt und in diese Flüssigkeit zwei Drähte aus Silber und Zink taucht. Werden diese Drähte an ihren oberen Enden mit einander in Berührung gebracht, so entstehen mit dem elektrischen Strome dieser einfachen Kette sogleich zwei Wirbel um die Drähte. Oder man kann auch ein kleines mit Lack überzogenes Kästchen auf den einen Pol eines etwa 20 Zoll langen Magnetstabes setzen, Salzsäure oder Salmiakwasser hineingießen und zwei kleine Kegel aus Kupferblech so darin anbringen, daß sie die Flüssigkeit eben berühren. Wenn man nun den einen Kegel mit dem positiven, den anderen mit dem negativen Poldrahte einer Säule verbindet, so dreht sich die Flüssigkeit um den negativen Kegel nach der einen, um den positiven nach der entgegengesetzten Richtung. Auffallender wird die Bewegung, wenn man von einem Stück Kohle oder Schwefel Staubtheilchen auf die Flüssigkeit schabt. Nach Fechner bedient man sich zu demselben Behufe folgenden Verfahrens. Eine Kupferschale, deren Boden in der Mitte etwas aufwärts gedrückt ist, wird auf den Pol eines vertical stehenden Magneten gestellt. Auf den in die Höhe gedrückten Theil der Kupferschale legt man einen Zinkring und schließt die so gebildete einfache Kette durch eine Salmiaklösung, welche mit etwas Salzsäure gemischt ist. Sobald der elektrische Strom durch diese Flüssigkeit geht, geräth sie in eine Rotation, welche besonders am Zinkring sehr lebhaft ist, so daß selbst hineingelegte Papierstückchen mit fortgerissen werden *).

Aehnliche Drehungen brachte Davy **) am Quecksilber und geschmolzenen Zinn hervor. Durch den Boden eines Gefäßes gingen zwei verticale Drähte, die bis auf ihre obersten Punkte mit Siegellack überzogen waren. In dieses Gefäß

*) Schweigg. Jahrb. Bd. LV. S. 15.
**) Phil. Transact. for 1823. T. II. Schweigg. Jahrb. Bd. XL. S. 352.

wurde Quecksilber gegossen, bis es die Drähte etwa 1 Linie hoch bedeckte, und hierauf wurden die unteren Enden derselben mit den Polen einer starken galvanischen Kette verbunden. Das Quecksilber erhob sich dann über den Drähten kegelförmig und erregte Wellen. Als aber der Pol eines Magnets einem dieser Drähte von oben oder unten genähert wurde, senkte sich das Quecksilber und gerieth in eine rotirende Bewegung um die Drähte. Man kann das Gefäß auch vortheilhaft zwischen die Pole eines starken Hufeisenmagnetes bringen, so daß der eine Pol unter demselben, der andere aber darüber liegt. Befindet sich der Nordpol oben, so rotirt das Quecksilber über dem positiv elektrisirten Drahte linksum, über dem negativen rechtsum.

Einige Apparate, um die Rotation des Wassers unter Einwirkung des galvanischen Stromes darzustellen, hat Ritchie angegeben *).

In dem Entladungskreise einer mäßig starken Volta'schen Kette beobachtet man auch ohne Anwendung eines Magneten mitunter merkwürdige Bewegungen, die jedoch nicht rein elektromagnetischer Natur zu sein scheinen, sondern ihren Grund wohl auch theilweise in der Wirkung zwischen den Poldrähten und den Bestandtheilen der eingeschalteten Flüssigkeit haben. Diese Bewegungen wurden zuerst von Erman **) und später von Herschel, Pfaff ***), Nobili ****) ꝛc. genauer beobachtet. Bedeckt man nämlich reines Quecksilber, das sich in einer flachen Uhrschale befindet, mit einer dünnen Schicht einer leitenden Flüssigkeit, z. B. mit Schwefelsäure oder einer Lösung von Aetzkali, und bringt mit dieser die Poldrähte der galvanischen Säule in leitende Berührung, so entstehen strömende Bewegungen, die nach den Umständen bald von dem einen, bald von dem anderen Poldrahte, bald von beiden auszugehen scheinen. Steht der positive Poldraht mit der alkalischen Lösung, der negative durch diese Flüssigkeit hindurch mit dem Quecksilber in Berührung, so plattet sich das letztere ab, und es entsteht eine lebhafte Strömung, die vom positiven Drahte nach dem negativen gerichtet, sich aber hier theilt und nach beiden Seiten Wirbel bildet. Die letzteren dauern auch dann noch fort, wenn der negative Poldraht aus dem Quecksilber bis in die Flüssigkeit zurückgezogen wird, und zwar so lange, bis das durch den elektrischen Strom aus dem Kali reducirte Kalium, das sich bei seiner Abscheidung mit dem Quecksilber amalgamirt, wieder durch Oxydation in Kali verwandelt ist. Berührt hingegen der negative Draht die alkalische Lösung und der positive das Quecksilber, so entsteht eine Contraction des letzteren. Sobald es aber mit dem am Rande des Glases eingetauchten positiven Drahte außer Berührung tritt, flacht es sich wieder ab, kommt dadurch von Neuem mit dem Drahte in Contact, und bietet so die Erscheinung einer abwechselnden Zusammenziehung und Ausdehnung dar, wobei es sich zugleich oxydirt und an seiner Oberfläche braun und zähe wird. Das Quecksilber nimmt aber sogleich wieder seine convexe Gestalt an, wenn der positive Draht aus dem Quecksilber in die Flüssigkeit zurückgezogen und dafür der negative Draht in

*) Poggend. Ann. Bd. XXVII. S. 582.

**) Gilb. Ann. Bd. XXXII. S. 289.

***) Schweigg. Journ. der Chemie und Physik. Bd. XLIII. S. 190—246.

****) Journ. der Chem. und Phys. Bd. LIV. S. 40—65. Man kann über diesen Gegenstand auch vergleichen den Art. Astron. und physik. Bildersprache. Bd. I. S. 411 ff.

dasselbe getaucht wird, womit auch die Oxydhaut verschwindet. Wenn man ferner Quecksilber mit einer 1 Linie dicken Schicht gesättigter Kochsalzlösung bedeckt, und einen kleinen Krystall von Kupfervitriol darauf legt, so wird das Quecksilber durch eine Oxydhaut allmälig matt. Die letztere verschwindet jedoch sogleich, wenn man das Quecksilber durch die Salzlauge hindurch mit einem blanken Eisendraht berührt, wodurch auch hier Strömungen entstehen, die so lange anhalten, bis der Krystall verzehrt ist.

Magnetisiren des Eisens durch den elektrischen Leitungsdraht.

Der Schließungsdraht einer galvanischen Kette wirkt nicht nur ablenkend auf die Magnetnadel, sondern er zieht auch Eisenfeile an und ist selbst im Stande, Eisen und Stahl magnetisch zu machen. Taucht man den Draht, während er von der Elektricität durchströmt wird, in Eisenfeile, so werden die Eisentheilchen durch Anziehung festgehalten; dieselben ordnen sich jedoch nicht wie an einem gewöhnlichen Magneten, sondern sie wickeln den Draht gleichsam ein, indem sie sich ihrer ganzen Länge nach quer um ihn herumlegen. Diese Erscheinung wurde zuerst von Arago *) wahrgenommen und dann von Seebeck **) genauer beobachtet. Um sie deutlich wahrzunehmen, ist ein kräftiger Strom nöthig. Befindet sich die Eisenfeile auf einem Papierblatte oder einer Glastafel, so legen sich die einzelnen Theilchen, dem Vorerwähnten entsprechend, senkrecht gegen den Draht, wenn derselbe von der Tafel bedeckt ist. Auch kann man dem Schließungsdrahte die Form einer Spirale geben, deren ungleiche Windungen in derselben Ebene liegen, und nahe darüber eine Glasplatte bringen, auf welcher die Eisenfeile gleichförmig ausgebreitet ist. Die letztere ordnet sich dann, wenn man schwach an die Tafel klopft, zu eben so vielen concentrischen Ringen, als Spiralwindungen vorhanden sind. Hiernach stellt sich also der Schließungsdraht als ein Transversalmagnet dar, jedoch nur so lange, als die Elektricität durch ihn hindurch geht. Ueberdies läßt sich leicht erkennen, daß der Stromleiter in Eisenstäben oder Stahlnadeln den Magnetismus ganz auf die Art und Weise hervorruft, wie es gemäß der uns bekannten Einwirkung des Schließungsdrahtes auf die Magnetnadel zu erwarten ist. Zum Behufe der Magnetisirung von Stahlnadeln muß nämlich der Draht quer über oder unter der Nadel, am besten in einer auf der Axe der Nadel senkrechten Richtung fortgeführt werden. Denkt man sich nun den Beobachter in die Richtung des elektrischen Stromes so gelegt, daß dieser bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt, so wird die Nadel in der Art magnetisirt, daß sie ihren Nordpol zur Linken des Beobachters hat.

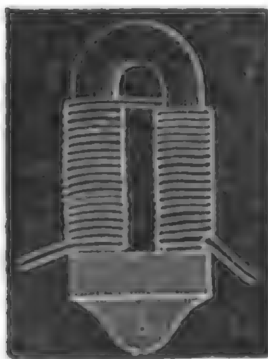
Die Wirkung des Schließungsdrahtes läßt sich beträchtlich verstärken, wenn man denselben schraubenförmig um eine Glasröhre windet, in welche man die Nadel legt. Die Lage der Pole in der auf diese Weise magnetisirten Nadel ist durch die Richtung der Drahtwindungen bedingt. Ist die Spirale rechts gewunden, so bekommt die Nadel oder der Eisenkern den Südpol da, wo der Strom eintritt, bei einer links gewundenen aber an dem Ende, wo er austritt.

---

*) Ann. de chim. et phys. T. XV. p. 93.
**) Berliner Denkschriften. 1820—21. S. 289 ff.

Wenn man den Schließungsdraht, nachdem er eine Strecke rechts aufgewunden ist, rückwärts biegt und eine Strecke weit links windet, dann wieder in entgegengesetzter Richtung um dieselbe Glasröhre fortführt ꝛc., so entstehen an einem in die Röhre gelegten, etwas langen Eisenkerne mehrere mit einander abwechselnde Pole oder sogenannte Folgepunkte, wie sie mitunter auch beim gewöhnlichen Magnetisiren hervortreten. Will man den Draht, um die Wirkung zu verstärken, in vielen über einander liegenden Windungen um den Eisenstab herum führen, so müssen dieselben von einander isolirt sein, weshalb man mit Seide übersponnene Kupferdrähte anzuwenden pflegt. Außerdem ist darauf zu achten, daß alle Windungen nach derselben Richtung gehen, wenn nicht entgegengesetzte Wirkungen eintreten sollen, die sich gegenseitig aufheben. So bleibt ein Eisen- oder Stahlstab unmagnetisch, wenn er mit zwei Spiralen versehen ist, welche von demselben Strome in entgegengesetzten Richtungen durchflossen werden.

Man nennt überhaupt einen Eisenstab, welcher durch Einwirkung des elektrischen Stromes vermittelst jener Drahtumwickelung magnetische Polarität erlangt, einen Elektromagneten, der hinsichtlich seiner Form geradlinig oder hufeisenförmig sein kann. Dabei ist der übersponnene Kupferdraht entweder unmittelbar auf das Eisen gewickelt oder nicht, so daß dieses im zweiten Falle innerhalb der Spirale verschiebbar ist. Die Ordnung aber, in welcher die Windungen neben und auf einander liegen, ist gleichgiltig, wenn nur alle Windungen nach derselben Richtung gehen, was bei einem hufeisenförmigen Stabe ebenso wohl als bei einem geradlinigen zu beachten ist.



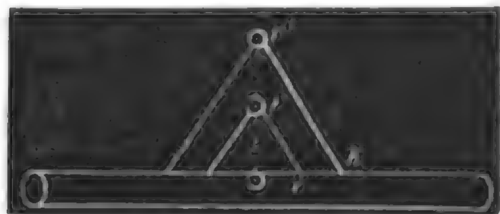
Die Gesetze, nach welchen die Stärke des im weichen Eisen erregten Magnetismus von der Beschaffenheit der einzelnen Elemente, welche bei seiner Erzeugung in Betracht kommen, abhängt, sind zuerst von Jacobi und Lenz genauer erforscht worden *), indem sie dabei von der Annahme ausgingen, daß die magnetische Kraft sich verhalte wie der elektrische Strom, welcher durch den Elektromagneten beim Oeffnen der Kette in einer Drahtspirale inducirt wird (s. Induction).

Die magetische Kraft ist bis zu einer gewissen Grenze proportional der Stärke des Stromes, welcher den Eisenstab umkreist; aber unabhängig von der Dicke des Drahtes, welcher den Stab in der Gestalt einer Schraube umgiebt, vorausgesetzt, daß die letztere stets eine gleiche Anzahl von Windungen habe und der Strom stets von gleicher Stärke sei. Dabei ist jedoch nicht zu vergessen, daß es, um einen Strom von gleicher Stärke zu erhalten, erforderlich ist, eine galvanische Kette von größerer Kraft zu gebrauchen, sobald dünne Drähte, die einen größeren Widerstand darbieten, gebraucht werden.

Die Weite der Windungen oder der Durchmesser der Spirale ist von keinem Einflusse auf die Stärke des erregten Magnetismus, falls das Eisen weit genug aus derselben heraus-

*) Poggend. Ann. Bd. XLVII. S. 225 und 401; Ebenda Bd. LI S. 358.

ragt. Dies ergiebt sich leicht, wenn man bedenkt, daß jede Windung ihren Einfluß nicht nur auf die in ihrer Ebene gelegenen Eisentheilchen ausübt, sondern auch auf solche, welche rechts und links von ihrer Ebene liegen. Die Halbmesser zweier concentrischen Windungen seien durch r und r' bezeichnet, während r i und r' k zwei parallele Linien darstellen mögen, welche vom Umfange der Ringe nach den Punkten i und k des Eisenstabes gezogen sind, der in der gemeinschaftlichen Axe dieser Windungen liegt. Dann verhalten sich die von der Windung 2 r π auf den Punkt i, und die von der Windung 2 r' π auf k ausgeübten magnetischen Vertheilungen umgekehrt wie die Halbmesser. Dagegen sind die Wirkungssphären dieser Windungen, bezogen auf die zwischen gleichen Winkelweiten gelegenen Stücke des Eisens, den Halbmessern proportional, so daß sie mit diesen zunehmen. Die Gesammtwirkungen zweier Windungen von ungleichem Durchmesser werden demnach unter der Voraussetzung, daß der Eisenstab auf beiden Seiten weit genug aus den Windungen hervorsteht, einander gleich sein; und unter dieser Voraussetzung ist es auch gleichgiltig, ob die Windungen in der Mitte oder näher dem einen oder anderen Ende des Stabes sich befinden.



Die Stärke des in einem Eisenstabe erregten Magnetismus ist bei gleichbleibender Stromstärke der Anzahl der Windungen proportional, oder die Totalwirkung der einen Eisenkern umgebenden Windungen ist gleich der Summe der Wirkungen, welche die einzelnen Windungen ausüben.

Von Einflusse ist auch die Beschaffenheit des weichen Eisens und namentlich dessen Oberfläche. Durch vergleichende Versuche mit einem hohlen und massiven Eisencylinder stellte sich heraus, daß die ablenkende Kraft eines Elektromagnets bei gleichen Stromstärken vorzugsweise von der Oberfläche abhängig ist, so daß die innere Eisenmasse keinen sehr merklichen Einfluß zu haben scheint *), es sei denn, daß die Drahtwindungen aus größerer Entfernung auf den Eisenkern einwirken. Bei gleich dicken, aber ungleich langen Eisencylindern nimmt die magnetische Wirksamkeit mit ihrer Länge zu, aber in einem etwas größeren Verhältniß als diese.

Auf Grund der obigen Gesetze läßt sich nun mit Anwendung der Ohm'schen Formel (s. Galvanismus) berechnen, welche Bedingungen zu erfüllen sind, um einen Eisenstab mit einer gegebenen galvanischen Kette und Kupferspirale zu einem Elektromagneten von möglichst großer Wirksamkeit in die Ferne zu machen. Aus einer solchen Rechnung ergiebt sich, was auch schon aus dem letzten der oben angeführten Gesetze erschlossen werden kann, daß das Maximum des Magnetismus erhalten wird, wenn der gesammte Widerstand des die Spirale bildenden Leitungsdrahtes gleich ist dem Gesammtwiderstand der Kette. Die Maxima zweier Elektromagnete verhalten sich hiernach wie die Quadratwurzeln der ganzen Zinkoberfläche

*) Zu einem anderen Resultate führten Versuche von Pfaff; Poggend. Ann. Bd. LIII. S. 309.

in den Ketten und bei Stäben von gleicher Länge und bei gleicher Stromstärke wie die Durchmesser von denselben *).

Was die Tragkraft eines Elektromagneten anlangt, so steht dieselbe in keiner so einfachen Beziehung zu seiner Wirksamkeit in die Ferne, daß sie aus dieser ohne Weiteres gesetzlich abgeleitet werden könnte. Die Tragkraft läßt sich durch das Gewicht bestimmen, welches nöthig ist, um den Anker, wenn er den Elektromagneten unmittelbar berührt, abzureißen, während man unter Anziehungskraft das Gewicht verstehen kann, welches zum Abreißen des Ankers dann erforderlich ist, wenn zwischen diesem und den Polen des Elektromagneten sich ein unmagnetischer ebener Körper von mäßiger Dicke befindet. Dub **) fand für die Trag- und Anziehungskraft gerader cylindrischer Eisenstäbe, die stark geglüht und möglichst langsam abgekühlt waren, folgende Gesetze.

Die Anziehung wie Tragkraft wächst, so lange das Maximum des Magnetismus noch nicht erreicht ist, mit dem Quadrat der Stromstärke und hängt sowohl von der Masse als auch von der Form der Anker ab. Bei derselben Masse ist die Anziehung der Anker sehr verschieden und richtet sich sowohl nach deren Länge als auch nach ihrer Dicke. Die Anziehung nimmt mit der Länge der Anker bis zu einer gewissen Grenze gleichmäßig zu, und nähert sich dann einem Maximum, bis zu dessen Eintritt sie immer weniger zunimmt. Dieser Punkt, wo die Anziehung anfängt, sich einem Maximum zu nähern, tritt um so eher ein, je stärker der Strom und je dünner der Anker ist. Sind die sonstigen Umstände gleich, so wächst sie mit der Länge des Eisenkerns. Die auf den Anker ausgeübte Anziehung richtet sich ferner nach der Größe der Berührungsfläche, und bei gleich großer Berührungsfläche zieht derjenige Anker am meisten, welcher die größte Masse hat. Das Maximum der Anziehung tritt bei demselben Magneten und derselben Masse des Ankers bei einer bestimmten Größe der Berührungsfläche ein. Die Anziehung eines cylindrischen Ankers ist bei gleicher magnetischer Kraft abhängig von seiner Masse, Länge und von der Größe der Fläche, mit welcher er den Magneten berührt.

Eisenkerne von gleichem Gewicht haben nun bei verschiedenen Durchmessern, wenn sie von einer gleichen Anzahl Windungen der ganzen Länge nach bedeckt werden, gleiche Anziehungskraft, während ihre Tragkraft sehr verschieden und stärker bei großen Durchmessern als bei kleinen ausfällt, wenn die Berührungsfläche des Ankers eben so groß ist. Das Maximum der Anziehung findet statt, wenn Anker und Magnet gleiche Länge haben. Macht man aber den Magneten zum Anker und diesen zu jenem, so bleibt die Anziehung dieselbe, unter der Voraussetzung nämlich, daß dieselbe Spirale bei gleicher Stromstärke den Eisenkern der ganzen Länge nach umgiebt.

Die Anziehung wächst mit dem Quadrat von der Anzahl der Windungen, aber nur bis zu einer bestimmten Grenze, die von dem Maximum des Magnetismus abhängt, und sie ist um so größer, je näher bei sonst gleichen Umständen, die Windungen an der Berührungsfläche mit dem Anker aufgehäuft sind. Die Anziehung ist endlich proportional dem Producte aus der Stromstärke in die Anzahl der Windungen.

---

*) Nach anderen Versuchen wie die Quadrate der Durchmesser.

**) Poggend. Ann. Bd. LXXIV. S. 465.

Die Tragkraft eines Elektromagneten wird also durch den Magnetismus des Ankers, welcher in dem letzteren durch Vertheilung hervorgerufen wird, bedeutend erhöht. Diese gegenseitige Einwirkung zwischen den Polen eines Elektromagneten und des ihn schließenden Ankers ist nun bei hufeisenförmigen Stäben noch viel auffallender als bei geradlinigen. Wie außerordentlich groß auch die Tragkraft eines Elektromagneten ist, wenn die Pole durch einen Anker verbunden sind, so trägt doch jeder einzelne Pol für sich nur eine verhältnißmäßig sehr geringe Last. Die Länge der Schenkel eines hufeisenförmigen Magnets hat übrigens, nach Versuchen von Müller, unter sonst gleichen Verhältnissen keinen Einfluß auf die Tragkraft, und es ist auch gleichgiltig, ob die Windungen die ganze Länge der Schenkel oder nur einen Theil derselben bedecken.

Zur Klasse der Hufeisenförmigen Elektromagnete gehören bezüglich der Form auch der Joule'sche *) und Radford'sche. Der erstere besteht zunächst aus einem Eisencylinder, welcher 8 Zoll lang und längs seiner Axe mit einer Höhlung von 1,0 Zoll Durchmesser versehen ist. Derselbe ist parallel mit seiner Axe so weit abgeschnitten, daß die innern Ränder etwa $^1/_3$ Zoll von einander abstehen. Die Schnittfläche ist wohl geebnet und an dieselbe ein Stück weiches Eisen gelegt, das von gleicher Länge mit dem Cylinder und auf der einen (angelegten) Seite eben abgeschliffen ist. Alsdann wird das Ganze von außen abgedreht, und der Cylinder mit vier übersponnenen Kupferdrähten von $^1/_{11}$ Zoll Durchmesser und 23 Fuß Länge umwunden. Dieser Elektromagnet stellt also gewissermaßen eine Reihe aneinander gelegter kurzer Hufeisenmagnete dar, so daß zwei sehr breite Schenkel entstehen.



Das Maximum der Tragkraft ergab sich zu 3030 Pfund, wenn der Strom einer Zink-Eisenkette angewendet wurde, der nach Joule's Angabe 324 Gran Wasser in 1 Stunde zerlegt haben würde. Später wurden 21 Drähte von $^1/_{25}$ Zoll Dicke aufgewickelt und eine größere Kette (derselben Art) von 16 Elementen mit gußeisernen Cylindern zu 1 Quadratfuß Fläche angewendet, wodurch die Tragkraft auf 2775 Pfund stieg.

Der Radford'sche Elektromagnet ist eine cylindrische massive Scheibe von Eisen, an deren Basis ein Spiralgang eingeschnitten ist, der den Draht enthält. Das eine Ende desselben ist in der Mitte nach oben durchgezogen, während das andere seitwärts am Rande hinausgeht. Eine andere gleich große Scheibe dient als Anker. Auch dieser Elektromagnet erhält schon bei mäßiger Stromstärke eine sehr bedeutende Tragkraft.

Der Magnetismus des weichen Eisens dauert zwar gewöhnlich nur so lange, als der elektrische Strom durch die Drahtspirale geht; wenn aber der Elektromagnet wie in der Regel mit einer Armatur von weichem Eisen versehen ist, so behält er seine Polarität oft noch eine sehr lange Zeit hindurch bei. So fällt auch der Anker eines hufeisenförmigen Elektromagnets nicht ab, wenn man denselben beim Oeffnen der Kette mit den Schenkeln des letzteren ruhig in Berührung läßt.

*) Ann. of electricity. Vol. V. p. 187 u. 471; Poggend. Ann. Bd. LI. S. 378.

Diese Eigenschaft geht jedoch verloren, wenn die Eisenstäbe vorher ausgeglüht langsam in Asche erkalten, vor ihrer Anwendung aber erwärmt werden, und diese Wärme durch die Hitze des umwundenen Drahtes während des Versuches fortdauert *).

Um Stahlstangen vermittelst des elektrischen Stromes dauernd magnetisch zu machen zu machen, benutzt man mit Vortheil eine Drahtrolle, in welche man den betreffenden Stab hineinschiebt. Nach Elias **) wird ein etwa 25 Fuß langer, $^1/_8$ Zoll dicker und mit Seide übersponnener Kupferdraht zu einer Rolle so aufgewunden, daß diese einen Ring von 1 Zoll Höhe und $1^1/_2$ Zoll Weite darstellt. Bringt man nun die Enden des Drahtes mit den Polen einer galvanischen Kette (etwa 2 bis 4 Kohlen-Zink-Elemente zu einem Paar verbunden) in leitende Verbindung, so lassen sich schon Stahlstäbe von 2 bis 3 Fuß Länge und ein paar Zoll Breite bis zur Sättigung magnetisiren, wenn man sie einigemal ihrer ganzen Länge nach hin und wieder zurückschiebt. Durch eine Umkehrung des Stromesrichtung erleidet auch die Polarität einen fast augenblicklichen Wechsel. Einen geradlinigen Stahlstab pflegt man während des Magnetisirens an beiden Enden mit einem Stück weichen Eisen und einen hufeisenförmigen mit einem Anker zu versehen.

Man kann einen Elektromagneten übrigens auch auf gewöhnliche Weise zur Magnetisirung von Stahlnadeln benutzen, wenn man nach Dove unter die Pole desselben zwei Stücke Eisen legt, und darauf die zu magnetisirende Nadel. Hiernach streicht man wie beim Doppelstrich und entfernt die Nadel, indem man vorher die beiden Eisenstücke von ihr nach außen fortschiebt, während die Kette noch geschlossen ist. Auch soll ein Stahlstab, den man glühend in Berührung mit den Polen eines Elektromagneten bringt und dann in dieser Lage ablöscht, einen sehr starken Magnetismus erhalten ***).

Die Reibungselektricität richtet sich bezüglich ihres magnetisirenden Einflusses im Allgemeinen nach denselben Gesetzen wie die galvanische Elektricität. Doch fand Savary bei Versuchen mit dünnen Stahlnadeln einige Anomalien in Hinsicht auf die Art der hervortretenden Polarität. Derselbe spannte den leitenden Draht horizontal aus und brachte dann senkrecht gegen den letzteren verschiedene Stahlnadeln in ungleichen Entfernungen an. Nach Entladung einer Leidner Flasche oder Batterie durch diesen Draht zeigten sich nun alle Nadeln magnetisch, nur um so schwächer, je weiter sie vom Drahte entfernt waren; aber die gleichnamigen Pole lagen nicht bei allen nach derselben Seite hin. Bei einer größeren Anzahl von Nadeln waren in der Regel mehrere unmittelbar auf einander folgende, jedoch mit abnehmender Stärke, gleichnamig magnetisirt. Hierauf kam eine Reihe, in welcher die Lage der Pole die entgegengesetzte von der in der vorigen Reihe war ꝛc. Die Anzahl dieser Abwechselungen hängt von der Länge des Leitungsdrahtes, von den Dimensionen der Nadeln und ihrer Coërcitivkraft, und von der Stromstärke ab. Rieß ****), welcher die Versuche von Savary wiederholte, fand, daß eine dünne Nadel in einer und derselben Spirale bei wachsender Stärke des Stromes

*) Poggend. Ann. Bd. LVI. S. 455.
**) Poggend. Ann. Bd. LXII. S. 250.
***) Ann. de Chim et Phys. T. LI. p. 442.
****) Poggend. Ann. Bd. XXXXVII. S. 58.

abwechselnd in dem einen und dann in dem anderen Sinne magnetisirt wurde. Die meisten dieser Anomalien verschwinden indeß, wenn man nach Dove constante elektrische Ladungen auf starke Stahlnadeln wirken läßt. Die eigentliche Ursache, daß eine gehärtete Stahlnadel, senkrecht gegen den Entladungsstrom angebracht, an derselben Seite bald einen Nord- bald einen Südpol erhält, liegt höchst wahrscheinlich in dem Auftreten secundärer Ströme, da ein elektrischer Strom in einem benachbarten Leiter und selbst in dem, worin er sich bewegt, einen elektrischen Strom von entgegengesetzter Richtung, in dem Moment seines Verschwindens (oder einer Intensitätsabnahme) aber einen solchen von gleicher Richtung inducirt (s. d. Art. Induction), wobei noch zu berücksichtigen ist, daß jede Entladung einer Leidner Flasche aus einer Folge partieller Entladungen besteht, von denen jede nachfolgende schwächer als die vorhergehende ist, und die um so zahlreicher sind, je stärker die ursprüngliche Ladung war. Aehnliche Anomalien beobachtet man auch beim Magnetisiren von Stahlnadeln durch eine galvanische Kette, wenn die Intensität derselben zunimmt und der Leitungswiderstand sich vergrößert. Savary ermittelte ferner, daß eine Metallhülle, welche die Nadel umgiebt, nur bei einer gewissen Dicke ohne Einfluß auf die magnetisirende Kraft des elektrischen Stromes ist, so daß die Nadel bei einer bedeutenden Dicke der Hülle unmagnetisch bleibt. Sonst wird der Magnetismus des Schließungsdrahtes, wie Yelin und Arago fanden*), durch keinen elektrischen Isolator zurückgehalten. Man kann daher eine Stahlnadel mit beliebig schlechten Leitern der Elektricität umgeben, ohne daß dadurch der elektrische Stromleiter seinen magnetisirenden Einfluß auf dieselbe verliert, zu welchem Resultate auch Moll kam, indem er fand, daß die magnetisirende Kraft des von der Elektricität durchströmten Schließungsdrahtes durch Elfenbein, Stein, Holz ꝛc. wirkt, und daß selbst eine an und für sich diese Kraft hemmende Metallhülle ohne Wirkung bleibt, wenn sie mit einigen kleinen Löchern versehen ist. Der letztere Umstand deutet darauf hin, daß der hemmende Einfluß einer solchen Hülle auf inducirten elektrischen Strömen beruht, worüber der Artikel Induction nachzusehen ist.

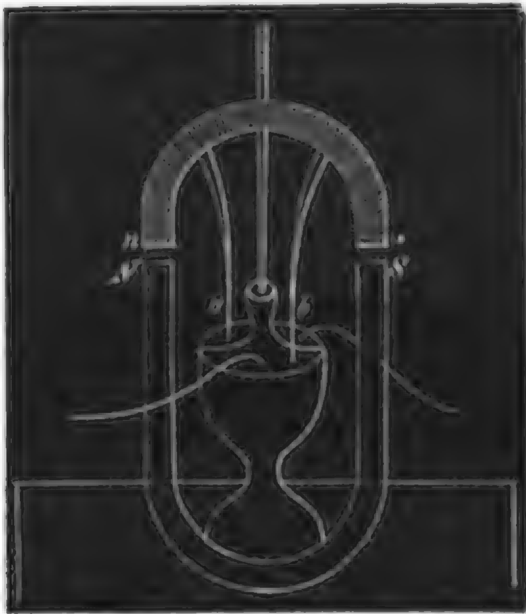
Obschon der Entladungsstrom einer Leidner Flasche oder Batterie in Stahlnadeln einen starken Magnetismus erzeugt, so ist er doch nicht im Stande, eine Magnetnadel nach der Art der galvanischen Elektricität ohne Weiteres abzulenken. Wenn man indessen die Entladung durch Einschaltung einer Wassersäule in einer hinreichend langen Glasröhre oder durch eine nasse Hanfschnur verzögert, so erfolgt nicht nur die Ablenkung der Magnetnadel, sondern auch Magnetisirung des weichen Eisens. Es wurde dies zuerst von Colladon nachgewiesen und dann von Faraday bestätigt. So erhält man auch eine Ablenkung der Magnetnadel im Multiplicator, wenn man das eine Ende desselben mit dem Fußboden und das andere mit einer Drahtspitze verbindet, die man dem Conductor einer thätigen Elektrisirmaschine oder der inneren Belegung einer Batterie entgegen hält.

Man hat versucht, den Elektromagnetismas als bewegende Kraft zum Betriebe von Maschinen zu benutzen. Daß dies überhaupt sehr wohl möglich sei, ergiebt sich leicht. Um einzusehen, wie durch Elektromagnetismus eine continuirliche Kreisbewegung hervorgebracht werden kann, ist umstehender Apparat geeignet.

---

*) Gilb. Ann. Bd. LXVI. S. 406.; Bd. LXVIII. S. 15.

Auf einem Fußgestelle ist ein hufeisenförmiger Magnet vertical befestigt, und darüber ein Stück weiches Eisen von derselben Form, das um eine verticale Axe leicht drehbar und mit einer Drahtumwickelung versehen ist. Sobald nun durch die letztere ein elektrischer Strom geht, wird das Eisen zu einem Elektromagneten, dessen Pole von denen des Hufeisenmagnets NS je nach der Richtung des Stromes angezogen oder abgestoßen werden. Nehmen wir an, die Richtung des durch die Windungen laufenden Stromes sei der Art, daß das Ende n des Hufeisens zu einem Nordpol und das andere Ende s zu einem Südpol werde, so erfolgt Abstoßung zwischen N, n und S, s, und wenn der Elektromagnet im Geringsten aus der Ebene des Hufeisenmagnets (hier aus der Ebene des Papiers) herausgebracht ist, so entsteht wegen jener Abstoßung eine rotirende Bewegung des Elektromagneten. Dadurch nähert sich aber der Pol s des letzteren dem Pol N und der Pol n dem Pol S, so daß jetzt Anziehung zwischen diesen ungleichnamigen Polen stattfindet. Soll also die Rotation Fortgang gewinnen, so muß in dem Moment, wo die Pole n, s in die Verbindungslinie zwischen N, S eintreten oder dieselbe vermöge der erlangten Geschwindigkeit eben überschritten haben, die Polarität im Elektromagneten einen Wechsel erfahren, damit wieder eine Abstoßung zwischen gleichnamigen Polen stattfinden kann. Durch einen solchen regelmäßigen Wechsel der Anziehung und Abstoßung wird nun eben der Elektromagnet in einer continuirlichen Kreisbewegung erhalten. Dieser Wechsel kann aber leicht durch eine Einrichtung bewerkstelligt werden, die von Ritchie herrührt. Zwischen den Schenkeln des Hufeisenmagnets befindet sich nämlich ein rundes Gefäß von Holz, das durch eine Scheidewand in zwei Fächer getheilt ist. Jede der letzteren ist so weit mit Quecksilber gefüllt, daß die Oberfläche desselben etwas über die Scheidewand hervorragt, ohne aber aus dem einen Fach in das andere überfließen zu können. Die Drahtenden a und b der Spirale, welche das obere Hufeisen umgiebt, berühren dann das Quecksilber, doch so, daß sie während der Rotation des Elektromagneten die Scheidewand nicht treffen. Wird dann der eine Poldraht einer galvanischen Kette in das eine Fach und der andere in das zweite eingeführt, so dringt der elektrische Strom abwechselnd in das eine und nach einer halben Umdrehung in das andere Drahtende der Spirale ein, wodurch der regelmäßige Wechsel der Pole im Elektromagneten eben bewerkstelligt wird. Denkt man sich nun an der verlängerten Drehaxe ein gezahntes Rad, das in ein anderes größeres eingreift, um dessen Axe eine Schnur geschlungen ist, welche über eine Rolle geht und ein Gewicht trägt, so erkennt man leicht, wie dieses Gewicht durch die Rotation des Elektromagneten gehoben werden kann. Es versteht sich wohl von selbst, daß auch der feststehende Magnet NS sich durch einen Elektromagneten ersetzen läßt.



Jacobi construirte nun nach diesem Princip einen Apparat, mit dem er eine kleine Kriegsschaluppe auf der Newa mit einer Geschwindigkeit von 3 Fuß

in 1 Secunde stromaufwärts in Bewegung setzte. Dieselbe trug 14 Personen, war 28 Fuß lang, $7^1/_2$ Fuß breit und nach Art der Dampfschiffe mit 8 Ruderrädern versehen. Der galvanische Apparat, welcher den elektrischen Strom lieferte, bestand aus 320 Plattenpaaren, jede Platte von 36 Quadratzoll Oberfläche. Die ganze Betriebsmaschine nahm auf dem Boote einen Raum von $12^1/_6$ Fuß Breite und $2^1/_2$ Fuß Länge ein. Durch eine spätere zweckmäßigere Anordnung einer Zinkplatinbatterie von 64 Plattenpaaren, jede Platte von 36 Quadratzoll Oberfläche, erhielt das Boot dieselbe Geschwindigkeit wie die eines Dampfschiffes, das mit gleicher Last beschwert war.

Wir wissen, daß die Anziehungskraft der Elektromagnete proportional ist dem Quadrat der Stärke des elektrischen Stromes, durch welchen sie erzeugt werden, und wenn die Drahtumwickelungen um beide Eisenstäbe gleichmäßig vermehrt werden, auch dem Quadrat von der Anzahl der Windungen, wonach es scheint, als ob die Kraft einer elektromagnetischen Maschine nach Belieben gesteigert werden könne. Nun steht aber nach Jacobi *) die Geschwindigkeit der Bewegung im umgekehrten Verhältnisse mit dem Quadrat der Anzahl der Windungen, so daß also die Zahl der letzteren ohne Einfluß auf den mechanischen Effect ist, und die Kraft der Elektromagnete nimmt nicht allein mit der Entfernung bedeutend ab, sondern vermindert sich auch noch beträchtlich während der Bewegung, wozu noch kommt, daß während der letzteren Gegenströme inducirt werden (s. Induction), welche hemmend zurückwirken. Außerdem ist zu beachten, daß bei Erzeugung des elektrischen Stromes eine gewisse Quantität Zink in der galvanischen Kette verzehrt oder oxydirt wird. Nun lassen sich die mechanischen Effecte gleicher Gewichte Kohle und Zink mit einander vergleichen, wenn jene zur Bildung von Dampf in einer Dampfmaschine, das andere aber zu einer galvanischen Kette verwendet wird. Nach Untersuchungen von Hunt **) ist (in den Schmelzöfen Cornwallis) ein Gran Steinkohle hinreichend, um 143 Pfund 1 Fuß hoch zu fördern, während ein in der Groveschen Kette oxydirter Gran Zink nur 80 Pfund eben so hoch hebt. Es verhalten sich also die mechanischen Effecte gleicher Gewichte Kohle und Zink wie 143 : 80, und die Kosten wie 9 : 216 oder wie 1 : 24, da nämlich 1 Centner Steinkohle kaum 9 Pence, ein Centner Zink dagegen über 216 Pence kostet. Mit Rücksicht auf die erwähnten Bewegungshindernisse stellt sich jedoch dieses Verhältniß noch viel ungünstiger für die elektromagnetische Maschine heraus.

Der amerikanische Physiker Page hat ein anderes Princip zur Construction einer elektromagnetischen Maschine in Anwendung gebracht. Wir haben oben (S. 786) die Thatsache hervorgehoben, daß eine Magnetnadel, welche man von der einen Seite her in eine cylindrische, von der Elektricität durchströmte Spirale schiebt, sich mit einer gewissen Geschwindigkeit nach der Mitte der Spirale bewegt und hier frei schweben bleibt. Ganz ähnliches muß nun stattfinden, wenn sich ein Eisenstab innerhalb einer größeren Drahtspirale befindet, falls nur in letzterer ein hinreichend kräftiger Strom circulirt. Hat man aber eine Reihe solcher Spiralen, welche nach einander von einem Strome durchlaufen werden, so läßt sich dem Eisenstabe eine sehr rasche hin und zurückgehende Bewegung ertheilen, die zum Betriebe

---

*) Poggend. Ann. Bd. LI. S. 358 ff.
**) Phil. Mag. (3). T. XXX. p. 550.

von Maschinen weiter fortgepflanzt werden kann. Page hat hierüber Versuche im Großen angestellt, und außer andern Maschinen auch eine Locomotive von 10 Pferdekräften hergestellt, die jedoch nur eine Geschwindigkeit von 3,47 deutschen Meilen in der Stunde gewährte. — Weiteres über diesen Gegenstand im Artikel Maschine, elektromagnetische.

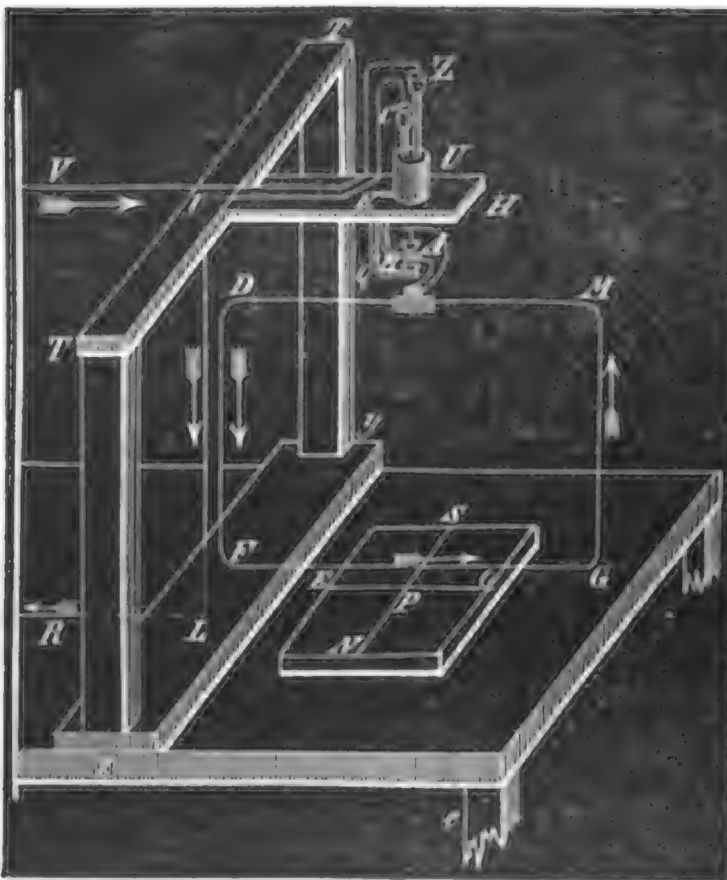
Einwirkung elektrischer Leiter auf einander.

Die Art und Weise, wie der Schließungsdraht einer galvanischen Kette auf eine Magnetnadel wirkt, ließ vermuthen, daß auch zwei bewegliche Stromleiter nach bestimmten Gesetzen sich anziehen und abstoßen würden, worüber Ampère eine Reihe wichtiger Wahrheiten aufgefunden hat. Man nennt nun eben die Lehre von der gegenseitigen Einwirkung elektrischer Leiter auf einander Elektrodynamik, wozu Manche auch noch die Wechselwirkung zwischen einem Stromleiter und Magneten rechnen. In diesem weiteren Sinne ist dann das Wort so ziemlich gleichbedeutend mit dem Ausdruck Elektromagnetismus.

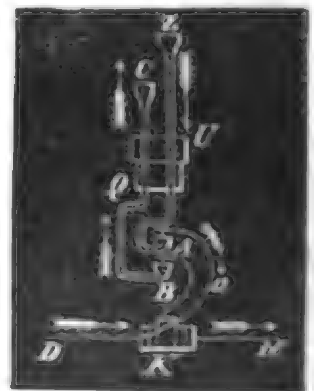
Zwei parallele Schließungsdrähte ziehen einander an, wenn der elektrische Strom in beiden nach derselben Richtung fließt; sie stoßen einander ab, wenn die Ströme in ihnen entgegengesetzte Richtung haben.

Zur experimentalen Bestätigung dieses Satzes dient ein von Ampère*) angegebener Apparat, der mancherlei mehr oder weniger zweckmäßige Abänderungen erfahren hat. Auf einem Tische ist vertikal befestigt ein Gestell XTTY, von dem in der Mitte das Brettchen H horizontal ausgeht. An demselben ist eine Vorrichtung angebracht, welche Figur II. besonders darstellt, CB und ZA sind nämlich gebogene Metalldrähte, die oben und unten mit Näpfchen versehen und in den isolirenden Träger U befestigt sind. In

I.



II.

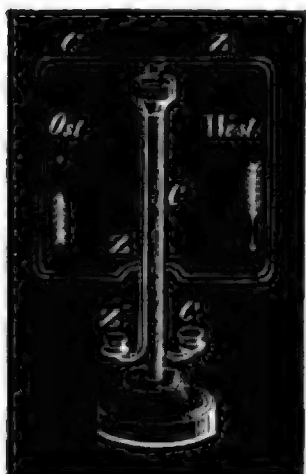


*) Ann. de chim. et phys. T. XXVI. p. 396.

die kleinen Näpfchen kommt reines und trocknes Quecksilber, in welches bei C und Z die Drähte Z V und C J L R eingesenkt werden. Die letzteren sind die Enden der Leitungsdrähte, welche von einem kräftigen galvanischen Apparate ausgehen. Alsdann wird der viereckig gebogene Draht D F G M (Fig. I.) mit seinen Endspitzen in die vertical über einander stehenden Quecksilbernäpfchen A und B gehängt, so daß er frei beweglich ist. Sobald die Kette geschlossen, durchläuft nun der elektrische Strom die Drähte, wie die Pfeile angeben, in der Richtung V Z A D F G M B Q C J L R. Der elektrische Strom hat also in den Drahtstücken D F und J L einerlei Richtung, und man bemerkt, daß dieselben sich anziehen, wie aus der Bewegung des Rechtecks erhellet, wenn man dasselbe etwas aus der durch J L und D F bestimmten Ebene herausdreht. Werden aber die beiden Leitungsdrähte V Z und J C verwechselt, so daß der erstere in das Quecksilbernäpfchen C und der andere in das Näpfchen Z taucht, so erhält der Strom die Richtung C Q B M G F D A Z und hat also in F D die entgegengesetzte Richtung von der, welche er in J L hat. In diesem Falle bemerkt man eine Abstoßung.

Bei dem eben betrachteten Apparate ist es derselbe elektrische Strom, welcher in den Theilen J L und D F der Leitung Anziehung oder Abstoßung bewirkt, je nachdem er in ihnen gleiche oder entgegengesetzte Richtung hat. Es versteht sich nun von selbst, daß man auch zwei verschiedene galvanische Apparate zu demselben Behufe gebrauchen kann, wie dies bei der folgenden von Sturgeon angegebenen Vorrichtung stattfindet. Ein Metallstab C′ geht oben durch ein metallenes Näpfchen, von dem er aber durch eine Lackschicht hinreichend isolirt ist. Auf dem oberen Ende dieses Stabes ist der rechtwinklig gebogene Draht C″ Z′ Z aufgehangen, dergestalt, daß eine abwärtsgebogene amalgamirte Spitze des Armes C″ auf dem oberen Ende des Stabes in einer Vertiefung ruht, während die Spitze des Armes Z in das Quecksilber, womit das erwähnte Näpfchen gefüllt ist, taucht. Beide Arme sind an dieser Stelle zusammengebunden, aber durch eine zwischen ihnen befindliche seidene Schnur von einander isolirt. Das an C′ befestigte Quecksilbernäpfchen C steht mit dem einen Pol einer galvanischen Kette in Verbindung, der andere Pol mit dem Quecksilbernäpfchen Z″, das durch den Stab Z′, der von C′ isolirt ist, mit dem oberen Quecksilbernäpfchen verbunden ist. Auf diese Weise nimmt nun der Strom entweder die Richtung Z″ Z′ Z C″ C′ C oder die umgekehrte. Nähert man aber diesem beweglichen Leiter den Schließungsdraht einer anderen galvanischen Kette, wie ihn etwa die nebenstehende Fig. II. darstellt, in paralleler Lage, so erfolgen die Anziehungen und Abstoßungen, je nach der Richtung des Stromes, auf die angegebene Weise.

I.



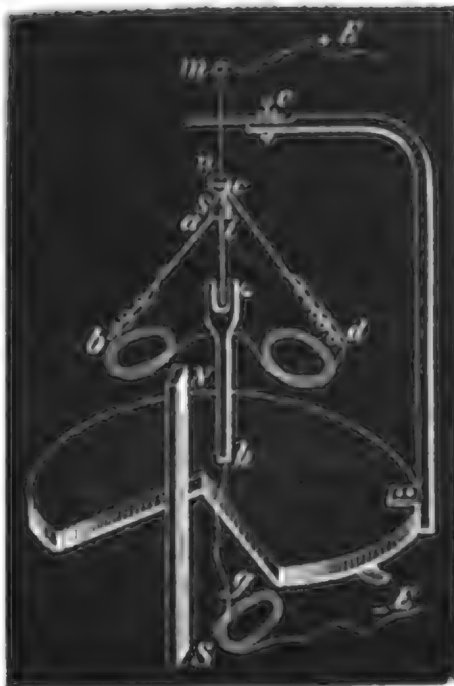
II.



Schweigger hat endlich noch einen Apparat angegeben, vermittelst dessen man auch bei schwachen Strömen die besagten Erscheinungen darstellen kann. Ein Metalldraht a b ist auf der metallenen Spitze i mittelst eines metallenen Hütchens beweglich, während ein anderer Metall-

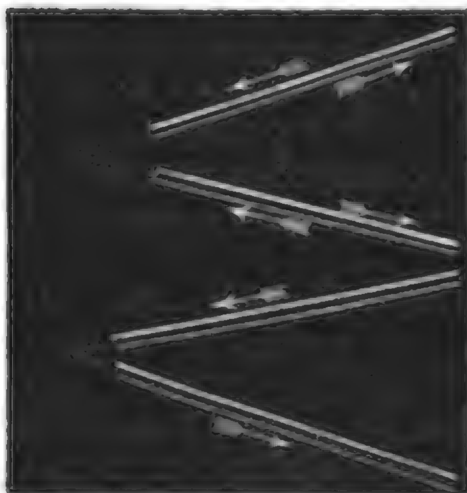
drahte an dem Schälchen c befestigt ist. Das letztere ist auf dem Hütchen s durch Siegellack aufgekittet, so daß beide von einander isolirt sind. Im Schälchen c befindet sich ein Tropfen Quecksilber, in das die Spitze des einen Leitungsdrahtes m n taucht. Die Enden b und d der Drähte werden durch einen Multiplicatordraht, der auf die in der Figur vorgestellte Weise gewunden ist, mit einander verbunden, während das eine Ende h eines anderen gewundenen Drahtes mit dem metallischen Träger des Apparates und das andere Ende mit dem Leitungsdrahte des zweiten Pols einer galvanischen Kette in Verbindung gesetzt wird, so daß dann der Strom, wenn m n der positive Polardraht ist, den Weg m n c d h a i h g einschlägt. Nimmt man nun den Multiplicatordraht g, während er vom Strome durchflossen wird, in die Hand, um ihn dem einen oder anderen Theile des Multiplicators b d parallel zu nähern, so geben sich die Anziehungen und Abstoßungen, der gegenseitigen Lage der Multiplicatoren gemäß, durch die Drehung des beweglichen Systems s b d zu erkennen.

I.



Auf der gegenseitigen Anziehung paralleler Leiter, in denen der Strom dieselbe Richtung hat, beruht folgender Versuch von Roget. Man hängt eine schlaffe Spirale von biegsamen Drahte senkrecht auf und verbindet ihr oberes Ende mit dem einen Pol einer galvanischen Kette, während man das untere Drahtende in ein Quecksilbergefäß tauchen läßt, welches mit dem zweiten Pol der Kette in Verbindung steht. Die einzelnen Ringe der Spirale ziehen sich nun unter einander an, weil sie von elektrischen Strömen in derselben Richtung durchlaufen werden. In Folge dieser Anziehung verkürzt sich die Spirale und ihr unteres Ende tritt aus dem Quecksilber heraus. Hiermit ist aber der Strom unterbrochen, die Anziehung fällt weg und die Spirale nimmt wieder ihre gewöhnliche Länge an. Da hierdurch die untere Drahtspitze wieder ins Quecksilber kommt, so erfolgt eine neue Anziehung der einzelnen Windungen der Spirale und damit eine abermalige Verkürzung der letzteren u. s. f.

II.

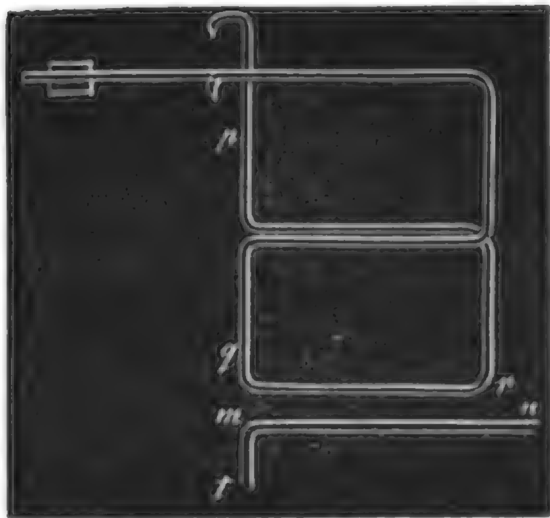


Zwei geradlinige Leiter, die einen Winkel mit einander machen, ziehen sich gegenseitig an, wenn der elektrische Strom in beiden zugleich auf die Spitze des Winkels zu oder in beiden zugleich von der Spitze des Winkels abgeht; sie stoßen einander ab, wenn der Strom in dem einen Leiter auf den Scheitelpunkt des Winkels zu, in dem anderen von ihm hinweg geht.

Um hierüber einen Versuch anzustellen, gebe man dem Schließungsdraht einer galvanischen

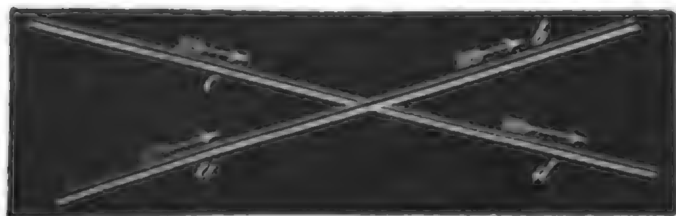
Kette die Form des beistehenden astatischen Rechteckes (Fig. I.), das eigentlich aus zwei Rechtecken besteht, auf welche die Einwirkungen des Erdmagnetismus an Größe gleich aber sonst entgegengesetzt sind, so daß dieselben sich gegenseitig aufheben. Darum wird eine solche Vorrichtung (beweglich aufgehängt) gegen andere äußere Einwirkungen sehr nachgiebig sein. Unterhalb des Vierecks befestige man nun einen Draht m n horizontal so, daß p q und m t in derselben Geraden liegen, während die Ebene des Vierecks mit der durch p q und m n bestimmten Ebene irgend einen Winkel bildet. Geht dann durch beide Leiter ein elektrischer Strom, welcher sowohl in m n als auch in q r nach dem Scheitelpunkt des Winkels hinfließt, oder in beiden von demselben weggeht, so dreht sich das Viereck in die durch p q und m n gedachte Ebene, wo dann der Strom in den Drähten m n und q r dieselbe Richtung hat. Wird dagegen der Strom in dem einen dieser Drähte umgekehrt, so erfolgt zwischen ihnen eine Abstoßung, vermöge deren das Viereck bei hinreichender Stromstärke einen Winkel von 180° beschreibt, wodurch dann die Ströme in beiden Drähten wieder gleiche Richtung erhalten.

I.



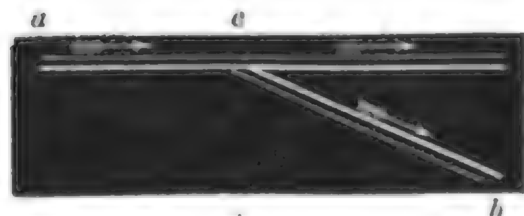
Wenn zwei geradlinige Stromleiter sich durchkreuzen, so streben sie sich parallel zu stellen, und zwar so lange, bis ihre Ströme nach einerlei Richtung gehen und parallel sind. Denn die Theile a und c, in welchen der Strom nach dem Kreuzungspunkte hingeht, ziehen sich an, eben so auch die Theile b und d, in denen der Strom von dem genannten Punkte hinweggeht. Dagegen stoßen die Theile a und d, wie auch die Theile c und b einander ab, weil der Strom in dem einen Theile nach dem Kreuzungspunkte hin, in dem anderen aber von diesem wegfließt. Dieses Gesetz gilt auch noch, wenn zwei Stromleiter im Raume sich durchkreuzen, ohne in derselben Ebene zu liegen, wo man dann statt des Durchschnittpunktes die kürzeste Entfernung zwischen den Richtungen beider Ströme in Betracht zieht.

II.



Nach dem Vorstehenden müssen nun die Theile a c und c b eines und desselben Stromleiters sich abstoßen, weil der Strom in a c zu dem Scheitelpunkte c hingeht, während er in b c von demselben wegfließt. Und hieraus folgt dann weiter, daß auch die verschiedenen auf einander folgenden Theilchen eines und desselben geradlinigen Stromleiters einander abstoßen, da man die Ver-

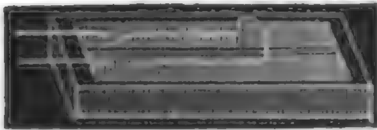
III.



längerung von a c als den zweiten Schenkel eines Winkels von 180° betrachten kann.

Ampère suchte diesen Satz durch folgenden Versuch zu beweisen. Ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß ist durch eine nichtleitende Scheidewand in zwei Fächer getheilt, und ein mit Seide übersponnener Kupferdraht dergestalt umgebogen, daß er zwei parallele Arme bildet, die auf das Quecksilber in den Fächern, parallel mit der Scheidewand, gelegt werden. Verbindet man nun mit den Drähten, welche in der Verlängerung jener Arme in die Fächer hineinragen, die Pole einer galvanischen Kette, so weicht der bewegliche Draht von den Poldrähten zurück gegen das andere Ende des Gefäßes hin.

I.



Die Wirkung krummliniger Stromleiter ist gleich der Wirkung geradliniger, wenn ihre allgemeine Richtung und Länge dieselbe ist. Biegt man einen mit Seide übersponnenem Kupferdraht, wie Fig. II. zeigt, und läßt man dann einen Strom hindurchgehen, so bringt er auf einen benachbarten beweglichen Stromleiter nicht die geringste Wirkung hervor. Man bemerkt, daß der Strom sich in beiden Theilen immer in entgegengesetzten Richtungen bewegt. Beide Theile haben daher gleiche, aber gerade entgegengesetzte Wirkungen.

II.



Wenn zwei Stromleiter sich durchkreuzen, so können dieselben begrenzt oder unbegrenzt sein. Das erstere findet statt, wenn ein Leiter nicht oder nur bis zu dem Scheitelpunkt des Winkels geht, den er mit einem andern macht. Dagegen ist derselbe unbegrenzt, wenn er über den Scheitelpunkt beträchtlich hinausgeht oder in sich zurückläuft.

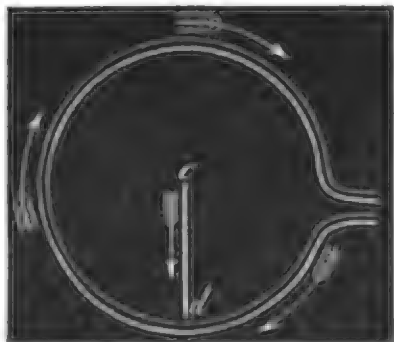
Geht nun ein parallel mit sich selbst beweglicher Strom c d so gegen einen festen unbegrenzten Strom a b hin, daß diesen seine Verlängerung trifft, so wird er nach einem bereits erörterten Gesetze von dem Theile a m des Stromes a b angezogen und von dem Theile b m abgestoßen. Der Strom c d muß also, indem diese Einwirkungen auf gleiche Weise sich beständig wiederholen, parallel mit sich selbst in einer dem Strome a b entgegengesetzten Richtung fortgehen. Entfernt sich aber der Strom c d von a b, so wird er nach demselben Gesetze umgekehrt von a m abgestoßen und von m b angezogen. In diesem Falle wird er also in der Richtung des Stromes a b selbst fortgetrieben. Ist aber der Draht c d blos um den Punkt c beweglich, so kann natürlich nur eine Drehung desselben nach der einen oder anderen Seite erfolgen. So wird nun auch ein um den Punkt c beweglicher Draht, wenn in ihm der elektrische Strom nach

III.

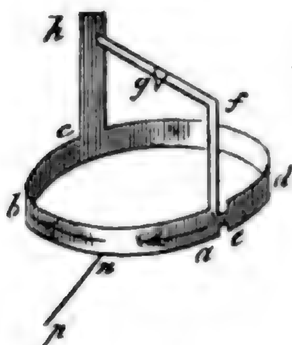


einem unbegrenzten kreisförmigen Strome hingeht, in einer dem letzteren entgegengesetzten Richtung sich drehen müssen. Geht dagegen der begrenzte Strom von d nach c, so erfolgt die Drehung dieses Drahtes im umgekehrten Sinne. Ist der Strom c d fest und der kreisförmige Stromleiter beweglich, so dreht sich der letztere in einer Richtung, welche der Drehung von c d entgegengesetzt ist. Um einen derartigen Rotationsversuch anzustellen, kann man (Fig. II.) als beweglichen Leiter einen kupfernen Ring a b c d e nehmen, welcher bei a e durch einen Nichtleiter unterbrochen ist und bei a mit dem rechtwinkelig gebogenen Drahte a f g in Verbindung steht. Der Arm g h c ist ein Nichtleiter. Diese Vorrichtung setzt man mittelst der Stahlspitze g in das Quecksilbernäpfchen q (Fig. III), so daß der Ring a b c d e in das gesäuerte Wasser des cylindrischen Kupfergefäßes k k' taucht. Steigt nun der Strom durch den Stab s auf, so geht er (Fig. II.) durch g f a nach dem Ringe,

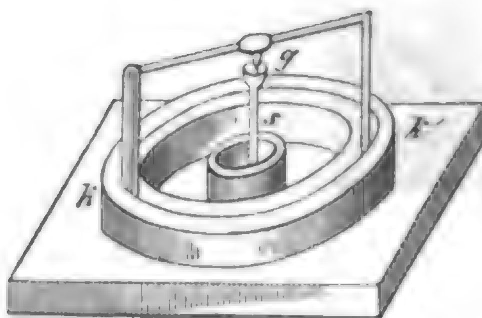
I.



II.



III.



um ihn in der Richtung a b c d zu durchfließen. Zu gleicher Zeit gehen aber auch Ströme von dem Ringe durch das Wasser nach dem Umfange des kupfernen Gefäßes. Ein jeder von diesen letzteren Strömen, z. B. n p (Fig. II.), entfernt sich nun von dem Strome a b im Ringe. Die Ströme a n und n p stoßen sich daher ab, während die Theile n b und n p sich anziehen. Der Ring muß sich also in der Richtung b a drehen. Geht der Strom vom Gefäße nach dem Ringe, also von p nach n, so fließt er in der Richtung n a f g weiter. In diesem Falle wird n a von n p abgestoßen, während der letztere b n anzieht. Die Drehung geschieht also in demselben Sinne wie vorher. Dagegen würde sie die entgegengesetzte Richtung einschlagen, wenn die Unterbrechung des Ringes links von a oder wenn der leitende Arm a f bei e angebracht wäre.

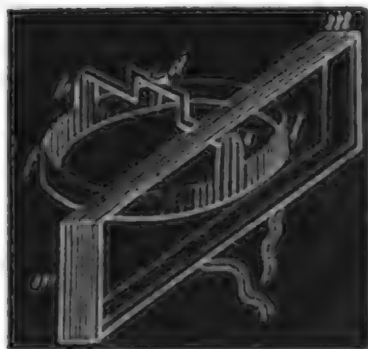
IV.



Nach dem Obigen muß (Fig IV.) ein um eine Axe beweglicher Strom c d von einem unbegrenzten Strome a b in eine beständige Drehung versetzt werden, sofern dieser den ersten in keiner Lage durchschneidet. Hat nämlich der Strom c d dieselbe Richtung wie a b, so wird er von n b angezogen, bis er in die

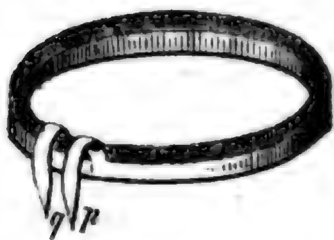
Lage c e kommt, in der er von a p angezogen und von p b abgestoßen wird. Folglich dreht er sich in derselben Richtung weiter. In der Lage c f zieht ihn a n an, während ihn n b abstößt. In c g wird er von a m angezogen und von m b abgestoßen; in c h erleidet er von dem entgegengesetzten Strome b a eine Abstoßung und in c i von p b eine Anziehung, während ihn a p abstößt ꝛc. Man sieht also, daß dieser Strom sich in einer Richtung drehen muß, welche der von a b entgegengesetzt ist. Dagegen würde sie in der Richtung des letzterwähnten Stromes geschehen, wenn der Strom in dem beweglichen Leiter anstatt von c nach d von d nach c ginge. Um diese Drehung durch den Versuch nachzuweisen, hänge man den überall geschlossenen Leiter b d c in das Quecksilbernäpfchen q des Apparates (Fig. III. S. 807), so daß der Ring l l in die Säure eingetaucht ist, und bringe hierauf mit dem Kupfergefäße das eine Ende des Multiplicatordrahtes m m, der mehrmals um einen Rahmen gewunden ist, in leitende Verbindung. Alsdann geht der Strom durch die Arme des geschlossenen Leiters und durch das Wasser zum Gefäße und von da durch den Multiplicatordraht zu zu dem anderen Pol der Kette. Giebt man nun dem Multiplicatordrahte die entsprechende Lage gegen die Arme d b und d c des Leiters, so geräth dieser in eine andauernde Drehung, da sich seine Arme in Hinsicht auf den Multiplicatordraht unter ähnlichen Umständen befinden, wie der bewegliche Draht in obiger Figur in Bezug auf den unbegrenzten Strom a b.

I.



Mit Vortheil kann man sich bei diesem Versuche statt des Multiplicatordrahtes eines mit Seide übersponnenen und spiralförmig gewickelten Kupferstreifens bedienen, den man um das mehrerwähnte Gefäß (Fig. III. S. 807) legt und dann das eine oder andere seiner Enden p, q in ein mit Quecksilber gefülltes Näpfchen taucht, das an das cylindrische Kupfergefäß k k′ gelöthet ist. Das andere Ende dieses Streifens taucht eben so in ein mit dem einen Pol der galvanischen Kette verbundenes Quecksilbernäpfchen. Verbindet man nun den anderen Pol der Kette mit dem vertikalen Metallstabe s (Fig. III. S. 807), so geht der Strom durch die beiden Arme des Leiters in das Wasser des Gefäßes k k′, und von dem Umfange des letzteren in den Kupferstreifen nach dem ersten Pol der Kette, oder den umgekehrten Weg. Die Rotation des beweglichen Leiters wird hier bewirkt durch die Wechselwirkung zwischen seinen horizontalen Armen und dem Strom im Multiplicatorbande.

II.



Mit demselben Apparate läßt sich auch ein Leiter von der Gestalt der umstehenden Fig. I. in eine drehende Bewegung versetzen, welche aber durch die Wirkung seiner verticalen Arme d g und c h hervorgebracht wird. Je nachdem der Strom in ihnen abwärts oder aufwärts geht, geschieht die Rotation im Sinne der Bewegung des Stromes im Multiplicatorbande oder in der entgegengesetzten Richtung. Um den Versuch anzustellen, braucht man nur die Spitze s des Leiters in das

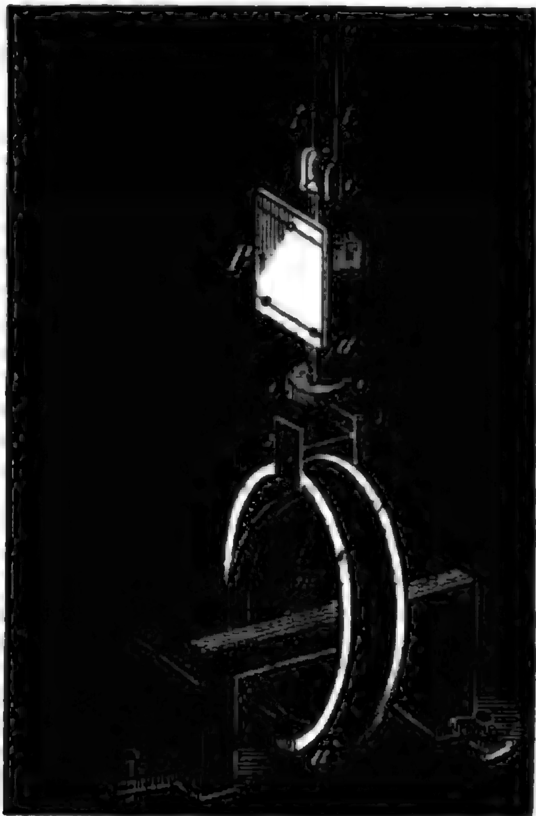
I.



Quecksilbernäpfchen q des Stabes s zu bringen, den man so weit in die Höhe schiebt, daß der kupferne Ring a g b des Leiters in die Säure im Gefäße k k' taucht. Die übrigen Anordnungen bleiben ganz so wie beim vorigen Versuche.

Die Wechselwirkung zweier Stromelemente steht nach einem von Ampère aufgestellten Gesetze im zusammengesetzten Verhältnisse ihrer Intensitäten und im umgekehrten des Quadrates der Entfernung. Dieses Gesetz hat W. Weber *) durch den Versuch bestätigt, wozu er sich eines eigenen Instrumentes bediente, das sich vorzugsweise zu feineren Beobachtungen und Maßbestimmungen elektrodynamischer Kräfte eignet und deshalb Elektrodynamometer genannt wird. Dasselbe besteht im Wesentlichen aus zwei Drahtrollen, von denen die eine fest steht, während die andere an zwei Fäden beweglich aufgehängt ist. Die letztere heißt ihrer Aufhängungsart wegen Bifilarrolle, und besteht aus einem dünnen, 30 Millimeter breiten und 100 Millimeter im Durchmesser haltenden Messingringe, um den ein mit Seide übersponnener, $^1/_3$ Millimeter dicker Kupferdraht in etwa 3000 Windungen herumgeht. Zwei parallele Messingscheiben, welche durch diesen Ring mit einander verbunden sind, werden überdies durch eine feste messingene Klammer b, die in ihrer Mitte den Torsionskreis c c trägt, zusammengehalten. Der letztere ist aus zwei horizontalen Scheiben zusammengesetzt, von denen die untere durch die messingene Klammer mit der Bifilarrolle in fester Verbindung steht und eine Kreistheilung besitzt, während die obere auf der unteren um eine vertikale Axe drehbar und mit einem Index versehen ist. Der hölzerne Zapfen d, welcher mit dem Torsionskreis verbunden ist, trägt nun an seinem oberen Ende die Gabel einer sehr beweglichen Rolle von 20 Millimeter Durchmesser, und unter dieser Rolle hinweg geht ein seidener Faden zu beiden Seiten senkrecht in die Höhe, der einige Millimeter über der Rolle an den beiden Suspensionsdrähten fg, fg angeknüpft ist. Die letzteren gehen dann weiter in senkrechter Richtung zur Decke, an der sie vermittelst zwei von einander isolirter messingener Haken be-

II.



*) Abhandlungen bei Begründung der königl. sächs. Gesellschaft der Wissensch. 1846. Leipzig; Poggend. Ann. Bd. LXXIII. S. 193.

festigt sind, und von diesen gehen wieder zwei andere Drähte herab, und zwar der eine zu einer galvanischen Kette, der andere zu einem Commutator (s. d. Art.). Da mit den Punkten f, f auch die Enden des um die Bifilarrolle gewundenen Drahtes in Verbindung stehen, so kann der elektrische Strom durch den einen Suspensionsdraht zu dem einen Ende der Bifilarrolle und dann durch diese zu dem anderen Ende in den zweiten Suspensionsdraht fließen.

Die feste Rolle wird von zwei dünnen parallelen Messingplatten gebildet, die einen Durchmesser von 88 Millimeter haben und durch eine $5^1/_2$ Millimeter starke messingene Axe in 30 Millimeter Abstand von einander festgehalten werden. Der ganze Raum zwischen beiden Platten ist mit einem $^1/_3$ Millimeter dicken übersponnenen Kupferdrahte ausgefüllt, welcher in etwa 10000 Windungen um jene Axe herumgeht. Ganz nahe an der letzteren (bei m) befindet sich eine kleine mit Elfenbein gefütterte Oeffnung, durch welche das eine Ende des Drahtes nach Außen geht, während das andere an dem Umfange der Rolle bei m' mit Seidenfäden festgebunden ist. Das eine dieser Drahtenden führt nun zum Commutator, das andere aber erst zu den Windungen eines Galvanometers und von diesem gleichfalls zum Commutator. Die etwas hervorragenden Enden der Axe liegen in den Vertiefungen eines hölzernen Gestelles, das auf drei mit Stellschrauben versehenen Füßen steht. Um die Mitte der festen Rolle nach Belieben in den Mittelpunkt der beweglichen bringen und davon entfernen zu können, ist der eine von diesen Füßen mit einem Gelenk versehen, vermittelst dessen derselbe so zurückgeschlagen werden kann, daß er sich mit einem Theile des Gestelles und der festen Rolle durch die bewegliche hindurchführen läßt. An dem hölzernen Zapfen d befindet sich endlich noch ein verticaler Planspiegel P, in dem sich die Theilstriche einer in einer bestimmten Entfernung horizontal angebrachten Scale spiegeln. Hierdurch wird es möglich, die Bewegungen der Bifilarrolle mit Hülfe eines Fernrohres auf dieselbe Weise zu beobachten, wie die Schwingungen des Magnetstabes im Gaußischen Magnetometer *). Um diese Rolle gegen den Einfluß der Luft etc. zu schützen, ist sie von einem hölzernen Gehäuse umgeben, dessen Inneres durch eine eingesetzte Glasscheibe Licht erhält. Ihrer horizontalen Axe läßt sich aber mittelst des Torsionskreises eine beliebige Lage geben, und wenn man dieselbe in die Richtung des magnetischen Meridians bringt, so hat der Erdmagnetismus auf die Stellung der Rolle keinen Einfluß, wenn sie von einem elektrischen Strome durchflossen wird. Geht nun ein elektrischer Strom durch sämmtliche Drähte des Apparates, so werden beide Rollen nach einer bestimmten Weise auf einander einwirken, und die hieraus entspringenden Ablenkungen der Bifilarrolle lassen sich mit Hülfe des Fernrohres und des erwähnten Planspiegels an der Scale beobachten **).

Es wurden nun zunächst drei Ströme von verschiedener Intensität durch die beiden Drahtrollen des Dynamometers und die gleichzeitigen Ablenkungen des letzteren und des Galvanometers beobachtet. Die Ablenkungen beider Instrumente führten zu folgenden Mittelwerthen, indem die Beobachtungen so reducirt wurden,

---

*) Siehe den Artikel Magnetometer.

**) Eine genaue Beschreibung aller einzelnen Theile eines kleineren transportabeln Elektrodynamometers findet sich vom Mechanikus Leyser in Poggend. Ann. Bd. LXXIII. S. 173.

daß die Ablenkungen des Dynamometers ein Maß der elektrodynamischen Kraft gaben, mit welcher die beiden Leiter des Dynamometers auf einander wirken, wenn durch beide Ströme von gleicher Intensität geführt werden, die Ablenkungen des Galvanometers aber ein Maß von dieser Stromintensität selbst.

Zahl der Grove'schen Elemente.	Ablenkungen	
	des Dynamometers	des Galvanometers
3	440,038	108,426
2	198,255	72,398
1	50,915	36,332

Werden die Beobachtungen am Dynamometer mit δ, die Beobachtungen am Galvanometer mit γ bezeichnet, so erscheint $\gamma = 5{,}15534 \sqrt{\delta}$; und wenn man hiernach die Werthe von γ aus den beobachteten Werthen von δ berechnet, so ergeben sich der Reihe nach die Zahlen

108,144
72,589
36,786,

welche von den beobachteten Werthen von γ nur sehr wenig differiren. Hieraus folgt denn mit Evidenz, daß die elektrodynamische Kraft der Wechselwirkung zweier Leitungsdrähte, durch welche Ströme von gleicher Intensität gehen, dem Quadrate dieser letzteren proportional sind, wie es das Ampère'sche Grundgesetz verlangt.

Hierauf wurde, um die Abhängigkeit der elektrodynamischen Kraft, mit welcher die beiden Leitungsdrähte des Dynamometers auf einander wirken, von der gegenseitigen Lage und Entfernung dieser Drähte zu ermitteln, die feste Rolle aus dem Innern der Bifilarrolle herausgerückt und ihr Mittelpunkt allmälig in verschiedene Abstände von der Mitte der Bifilarrolle gebracht. Beide Rollen befanden sich stets in einer solchen Stellung, daß ihre Axen in einer und derselben Horizontalebene lagen und einen rechten Winkel mit einander machten. Der Abstand beider Rollen wurde aber nach dem Abstande ihrer Mittelpunkte von einander bestimmt und demnach, wenn letztere zusammenfielen, gleich 0 gesetzt. In jedem anderen Falle mußte außer dem Abstande beider Mittelpunkte auch noch der Winkel bestimmt werden, welchen die beide Mittelpunkte verbindende Gerade mit der Axe der Bifilarrolle bildete. Zu diesem Behufe wurden 4 Hauptrichtungen gewählt, für welche dieser Winkel die Werthe 0°, 90°, 180° und 270° erhielt, so daß, wenn die Axe der Bifilarrolle die Richtung des magnetischen Meridians hatte, der Mittelpunkt der festen Rolle von dem Mittelpunkte der Bifilarrolle bald längs des magnetischen Meridians, nördlich oder südlich, bald nach der Richtung senkrecht gegen den magnetischen Meridian, östlich oder westlich entfernt wurde. So erhielten die beiden Leitungsdrähte des Dynamometers successive dieselbe Lage gegen einander, welche Gauß *) bei seinen Messungen benutzt hatte, um das Grundgesetz der

*) Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata. Goettingae. 1833; Poggend. Ann. Bd. XXVIII. S. 604. Vergl. auch den Art. Magnetismus.

gegenseitigen Einwirkung zweier Magnetstäbe zu bestimmen. Die für verschiedene Entfernungen beobachten Ablenkungen der Bifilarrolle stimmten nun mit den nach der Gaußischen Formel, welche eben das Gesetz der Wechselwirkung zweier Magnete ausdrückt, berechneten Werthen der Ablenkung möglichst überein, wodurch erwiesen ist, daß für die elektrodynamischen Wirkungen zweier Leitungsdrähte in die Ferne gleiche Gesetze gelten wie für die magnetischen.

Weber prüfte die Richtigkeit des elektrodynamischen Grundgesetzes auch noch dadurch, daß er die Einwirkung der festen auf die bewegliche Rolle nach einer von Ampère entwickelten Formel *), welche die Wechselwirkung zweier Stromelemente im Raume darstellt, für verschiedene gegenseitige Lagen und Entfernungen ihrer Mittelpunkte berechnete und dann mit den beobachteten Ablenkungen verglich, wobei sich ebenfalls eine fast vollständige Uebereinstimmung herausstellte.

Das Elektrodynamometer läßt noch andere Anwendungen als die eben betrachtete zu, worüber wir gelegentlich in den betreffenden Artikeln handeln werden.

Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen.

Nachdem Oersted die Ablenkung der Magnetnadel durch den Schließungsdraht einer galvanischen Säule entdeckt hatte, stellte er auch eine Theorie dieser Erscheinung auf, indem er, von der Identität der Elektricität und des Magnetismus ausgehend, eine Wirbel- oder vielmehr eine schraubenförmige Bewegung der beiden entgegengesetzten elektrischen Fluida um den Schließungsdraht annahm. Doch fühlte man auch bald die Willkür in dieser Annahme, die durch keine Thatsache begründet ist, und überdies nicht einmal die hauptsächlichsten hierher gehörigen Erscheinungen erklärt **).

Die vollständigste Theorie, welche auf der Voraussetzung einer Identität der Elektricität und des Magnetismus beruht, und von Oersted als eine Erweiterung der seinigen betrachtet wurde, hat Ampère aufgestellt. Wir haben gesehen, daß ein von der Elektricität durchströmter cylindrischer Schraubendraht sich auf ähnliche Weise wie ein zweipoliger (bipolarer) Magnet verhält. Hierauf gestützt

---

*) Es seien i und i' die Intensitäten der Ströme in den Elementen ds und ds' zweier Stromleiter und ε der Winkel zwischen ds und ds'. Bezeichnet dann r die Entfernung dieser Elemente und sind ϑ und ϑ' die Winkel, welche ds und ds respective mit r bilden, so hat man für die Wechselwirkung zwischen ds und ds' den Ausdruck:

$$\frac{i\,i'\,ds\,ds'}{r^2}\left(\cos\varepsilon - \frac{3}{2}\cos\vartheta\cos\vartheta'\right).$$

Je nachdem nun diese Formel positiv oder negativ ist, ziehen die Elemente ds, ds' einander an oder stoßen sich ab. — Setzt man $\varepsilon = \vartheta = \vartheta' = 0$, so gehören die Elemente ds und ds' einem und demselben geradlinigen Stromleiter an, und man hat dann $-\frac{i\,i'\,ds\,ds'}{r^2}$, woraus folgt, daß die auf einander folgenden Theilchen eines und desselben geradlinigen Stromleiters sich abstoßen, ein Satz, der auch experimental bestätigt werden kann. Siehe S. 806 dieses Artikels.

**) Siehe Pfaff: der Elektromagnetismus, eine historisch kritische Darstellung der bisherigen Entdeckungen auf dem Gebiete desselben, nebst eigenthümlichen Versuchen, Hamburg. S. 216. Muncke in Gehler's Phys. Wörterb. Bd. III. S. 603. Schweigg. Journ. Bd. III. S. 123.

nahm Ampère und mit ihm Demonferrand an, daß auch die Polarität der gewöhnlichen Magnete in elektrischen Strömen begründet sei, welche die einzelnen Massentheilchen umkreisen und so in sich selbst zurückkehren. Eine unendlich dünne Magnetnadel ist hiernach als ein System geschlossener, unter sich paralleler Ströme zu betrachten, durch deren Bahnebenen die Are der Nadel senkrecht hindurchgeht; und ein Magnetstab ist ein Inbegriff solcher gleich langer, paralleler Nadeln. Bezeichnet Fig. I. den Querschnitt eines Magneten, so kann man durch die Kreise die elektrischen Ströme vorstellen, welche die Massentheilchen umkreisen. Die Gesammtwirkung dieser elementaren Ströme ist aber gleich der Wirkung eines einzigen Stromes, der den Querschnitt in der Richtung der äußeren Pfeile umfließt. Hiernach würde Fig. II. einen linearen Magneten darstellen, dessen Süd-

I. II.

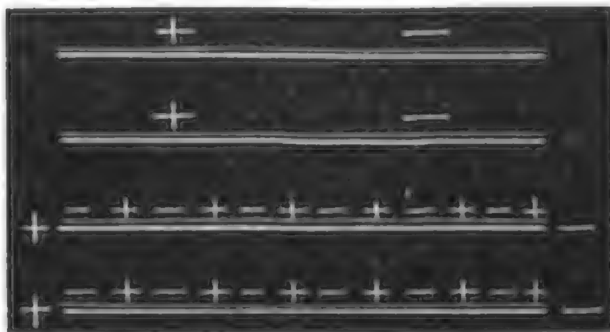


pol nach einem früher erörterten Gesetze, welches für die Einwirkung desselben auf einen kreisförmigen Stromleiter gilt, sich an demjenigen Ende befindet, wo die elektrischen Ströme, wenn dasselbe von vorne betrachtet wird, wie die Zeiger einer Uhr fließen, so daß dann der Nordpol natürlich am entgegengesetzten Ende liegt. Demgemäß müßten nun auch die Pole eines gewöhnlichen Magneten an den äußersten Enden liegen, während sie thatsächlich mehr oder weniger davon, nach der Mitte hin, abstehen. Ampère nahm deshalb an, daß die Ebenen der kleinen kreisförmigen Ströme nicht ganz senkrecht auf der Magnetare ständen, sondern vermöge ihrer gegenseitigen Einwirkung eine schiefe Stellung erlangten, welche namentlich an den Enden des Stabes von Bedeutung sei. Auch der Erdmagnetismus hat nach dieser Hypothese seinen Grund in elektrischen Strömen, welche die ganze Erde dem scheinbaren Laufe der Sonne gemäß von Ost nach West, parallel mit dem magnetischen Aequator, umkreisen, und deren resultirende Kraft durch einen einzigen Strom im magnetischen Aequator vorgestellt werden kann. Um das Magnetisiren des weichen Eisens zu erklären, werden in diesem ebenfalls elektrische Ströme angenommen, die im gewöhnlichen Zustande alle möglichen Richtungen verfolgen und sich deshalb aufheben sollen, während sie durch die Einwirkung eines Magnets parallel oder gleich gerichtet werden, und dann die Erscheinung des Magnetismus bedingen *).

*) Man kann hierüber vergleichen: Ampère, recueil d'observations electrodynamiques contenant divers mémoires, notices, extraits de lettres ou d'ouvrages périodiques sur les sciences, rélatifs à l'action mutuelle de deux courants électriques, à celle qui existe

Die Wechselwirkung zweier Magnete, wie auch die zwischen einem Magneten und einem Stromleiter ergiebt sich nun nach dieser Theorie leicht, wenn man die bereits erörterten Gesetze über die gegenseitige Einwirkung zweier Stromleiter in Anwendung bringt. Denn man hat es nunmehr blos mit der Wechselwirkung zweier Stromelemente zu thun, die sich längs der sie verbindenden Geraden, je nach ihrer Richtung anziehen oder abstoßen, so daß nur in dem einen Falle, wo diese Elemente senkrecht auf einander und auf ihrer Verbindungslinie stehen, keine Wirkung erfolgt. Aus diesen von Ampère entdeckten und berechneten, und überdies in neuerer Zeit von Weber auf dem Wege des Versuchs bestätigten Gesetzen folgt jedoch nicht das Mindeste für die Richtigkeit der Ampère'schen Grundansicht. Wir dürfen nämlich nicht außer Acht lassen, daß diese Gesetze zunächst nicht für die Wechselwirkung der elektrischen Stromelemente selbst, sondern anerkanntermaßen nur für die Massentheilchen der Leiter gelten, welche von einem elektrischen Strome in dem einen oder anderen Sinne durchlaufen werden. Wenn man nun hierbei schlechthin von elektrischen Strömen spricht, so geschieht das blos der Kürze wegen, so daß man also streng genommen z. B. sagen müßte: zwei parallele Leiter ziehen sich an oder stoßen einander ab, je nachdem die elektrischen Ströme in denselben gleiche oder entgegengesetzte Richtung haben. Thatsache ist es aber, daß ein von der Elektricität durchströmter Leitungsdraht magnetische Eigenschaften verräth, und zwar so, daß wir ihn gewissermaßen als einen Transversalmagneten betrachten können. Nun kann allerdings die Frage erhoben werden, ob die Elektricität selbst im Acte des Strömens sich als Magnetismus äußert, oder ob der letztere, als etwas für sich Bestehendes, durch den elektrischen Strom blos hervorgerufen wird. Das erstere behauptet die Ampère'sche Hypothese, die somit auch Elektricität und Magnetismus im Wesentlichen für dasselbe ausgiebt.

Ist es die Elektricität, welche die gegenseitige Anziehung und Abstoßung zweier Stromleiter bewirkt, so sollten die betreffenden Erscheinungen nach dem, was man sonst von dem Verhalten elektrischer Zustände weiß, gerade bei der umgekehrten Stromesrichtung eintreten. Stellen nämlich die Linien in nebenstehender Figur zwei Leiter dar, in denen der elektrische Strom dieselbe Richtung hat, so können wir jeden, da sich die elektrischen Zustände von entgegengesetzten Seiten her ausgleichen, in der einen Hälfte als positiv, in der anderen aber als negativ elektrisch betrachten. Hier ist wohl nach bekannter Weise Abstoßung, aber nicht Anziehung zu



entre un courant électrique et un aimant ou le globe terrestre et à celle de deux aimans l'un sur l'autre. Paris 1822. 8. 360. Ampère, exposé méthodique des phénomènes électrodynamiques et des lois de ces phénomènes. Paris 1824. Ampère, théorie de phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience. Paris 1826. Demonferrand, manuel d'électricité dynamique. Paris 1823, deutsch von Fechner, Leipzig 1824. 8. Darstellung der neuesten Entdeckungen über die Elektricität und den Magnetismus &c. durch Ampère und Babinet, aus dem Französischen. Leipzig 1822. 8. Mémoire sur l'application du calcul aux phénomènes élect. par Savary. Paris 1823; Ann. de chim. et phys. T. XXII. p. 91.

erwarten, was auch dann noch gilt, wenn die Ausgleichung der entgegengesetzten elektrischen Zustände in jedem Massentheilchen des Leiters vor sich geht. Außerdem hat man gegen die Ampère'sche Ansicht vom Magnetismus mit Recht eingewendet, daß sie ein selbstständiges Fortbestehen elektrischer Ströme auf eine Weise verlangt, welche mit dem gewöhnlichen Verhalten der Elektricitätsleiter, wozu die des Magnetismus fähigen Körper gehören, nicht wohl zu vereinbaren sei. Wie leicht auch das elektrische Gleichgewicht in Leitern gestört werden kann, so muß doch eine constante Ursache vorhanden sein, welche die Bewegung unterhält. Ueberdies zeigen schon die gewöhnlichen Erscheinungen der Elektricität und des Magnetismus solche Unterschiede, welche die Annahme einer Identität beider Potenzen keineswegs unterstützen. Wenn ein elektrisirter Körper einem anderen seinen Zustand mittheilt, so erleidet er einen Verlust, der bis zur völligen Erschöpfung gehen kann, während ein Magnet nicht das geringste an Kraft verliert, wenn er andere Körper in denselben Zustand versetzt. Die elektrische Anziehung hat, falls eine Berührung der betreffenden Körper stattfindet, Abstoßung zur Folge, die magnetische nicht, und wenn zwei mit entgegengesetzten elektrischen Zuständen behaftete Körper sich bis zur Berührung anziehen, so erfolgt eine völlige Ausgleichung oder eine Widerherstellung des natürlichen Zustandes dieser Körper, insofern die elektrischen Zustände in beiden mit gleicher Intensität hervortraten. Beim Elektrisiren durch Vertheilung zeigt sich zwar ein ähnlicher Gegensatz wie beim Magnetisiren eines Stückes Eisen, indem das dem elektrischen Körper zugekehrte Ende eines benachbarten Leiters den ungleichartigen, das andere den gleichnamigen elektrischen Zustand erhält. Verbindet man aber den durch Vertheilung elektrisirten Leiter durch einen anderen mit der Erde, so geräth er auf seiner ganzen Oberfläche in einen gleichartigen elektrischen Zustand, der dem des vertheilend wirkenden Körpers stets entgegengesetzt ist. So etwas zeigen die magnetischen Erscheinungen nicht, da ein Magnet, so lange er als solcher existirt, immer wenigstens zwei Pole zeigt. Die Elektricität läßt sich also isoliren, der Magnetismus nicht, und diese Thatsache setzte schon Davy *) der Annahme einer Identität dieser beiden Potenzen entgegen. Nun könnte man freilich noch einwenden, daß es den elektrischen Strömen, welche die Massentheilchen umkreisen und den Magnetismus bedingen, eben unmöglich sei, auf einen sich darbietenden Leiter überzugehen, wonach dann die magnetische Eigenschaft noch wesentlich von der Natur der betreffenden Körper abhängig sein würde. Darüber wolle man den Artikel Magnetismus vergleichen.

Wenn man die Nichtidentität der Elektricität und des Magnetismus anerkennt, so kann der letztere, der gewöhnlichen Ansicht gemäß, seinen Grund in zwei entgegengesetzten magnetischen Flüssigkeiten haben, oder derselbe ist eine inhärirende Eigenschaft der Materie, so daß er dieser als solcher zukommt. Im ersten Falle müßte dann die Elektricität, wenn sie einen Leiter durchströmt, das überall im neutralen Zustand vorhandene magnetische Fluidum in seine beiden entgegengesetzten Bestandtheile zerlegen, dergestalt, daß der nordpolare (positive) nach der einen, der südpolare (negative) nach der anderen Seite hin zu liegen käme. Diese Ansicht ist bekannt unter dem Namen des Transversalmagnetismus, der je

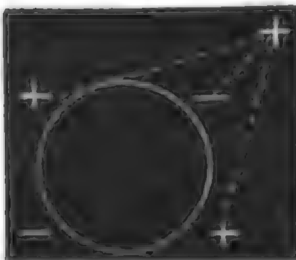
*) Phil. Transact. 1821. T. I. p. 7. Gilb. Ann. Bd. LXIX. S. 77. Bd. LXXI. S. 240.

nach der Anzahl und Lage der Pole, die man in jedem Querschnitte des Stromleiters als vorhanden annimmt, wieder verschiedene Benennungen erhalten hat. So betrachtete G. G. Schmidt *) den elektrischen Leitungsdraht als einen einfachen Transversalmagneten, der an seinen beiden Seiten seiner ganzen Länge nach an der einen Seite nordpolar, an der anderen südpolar sei. Ein derartiger Transversalmagnet zeigt zwar ähnlich, wie ein Stromleiter, Ablenkungen der Magnetnadel; dieselben geschehen aber stets nach derselben Richtung, mag man die Längenaxe desselben über oder unter die Magnetnadel bringen. Auch erklärt dieser bipolare Transversalmagnetismus weder die Rotation eines Magnetpoles um einen verticalen Leitungsdraht, noch die Wirkung zweier Stromleiter auf einander. W. Althaus **) stellte deshalb die Theorie des sogenannten tetrapolaren Transversalmagnetismus auf, nach welchem in jedem Querschnittsumfange des elektrischen Leiters vier Pole existiren, von denen die beiden positiven, wie auch die beiden negativen einander diametral gegenüberliegen. Diese Ansicht erklärt nun mit Leichtigkeit die wechselseitigen Einwirkungen zweier Leiter, je nachdem der Strom in denselben gleiche oder entgegengesetzte Richtung hat, wie aus nebenstehender Fig. I. sogleich erhellet, welche die Querschnitte zweier Leiter für den Fall gleicher Stromesrichtung darstellt. Dagegen ist sie unvermögend, die Rotation eines Magnetpoles um den ganzen Umfang eines Leiters zu erklären, indem sie keinen Grund dafür angiebt, warum diese Rotation stets nach einer bestimmten Richtung stattfindet. Auch dies erkennt man ohne Weiteres aus der Ansicht der Fig. II., wenn man sich über dem Querschnitt des Leiters etwa den positiven Pol einer Magnetnadel denkt und nun die Einwirkungen der Pole im Umfange des Leiters auf denselben in Betracht zieht. Sobald nämlich jener Pol in die Richtung der beiden gleichnamigen Pole (— oder + des Leiters) gekommen ist, ist gleich viel Grund für die Bewegung nach der einen und anderen Seite hin vorhanden, so daß also der tetrapolare Transversalmagnetismus die vollständige Rotation des Magnetpoles um den Leiter durchaus nicht zu erklären vermag. Und an der Erklärung dieser Fundamentalerscheinung scheitern auch sämmtliche Modificationen dieser Theorie, wie sie von Prechtl ***), Seebeck ****) und Pohl *****) ausgeführt worden sind.

I.



II.



Ich erlaube mir nun im Nachstehenden eine Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen vorzutragen, welche die Identität der Elektricität und des Magnetismus gleichfalls verneint, sonst aber den letzteren als eine inhärirende Eigenschaft der Materie betrachtet, in sofern diese als eine aus ungleichartigen Elementen

*) Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 1. Bd. LXXIV. S. 265.

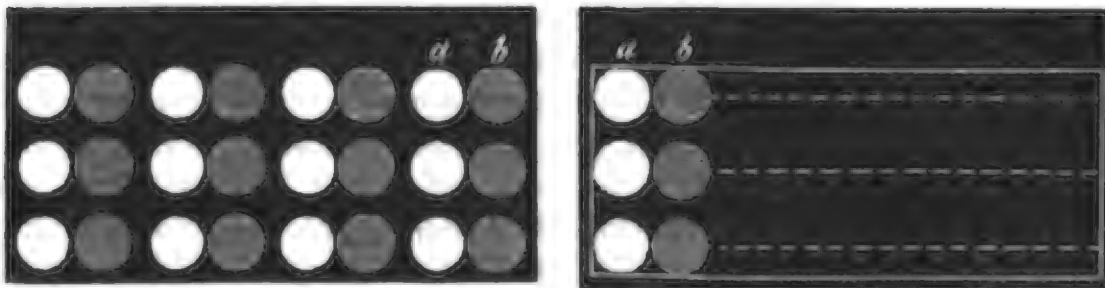
**) Versuche über den Elektromagnetismus rc. Heidelberg 1821. 8.

***) Gilb. Ann. Bd. LXVII. S. 259. Bd. LXVIII. S. 187. 203; Schweigg. Journ. Bd. XXXVI. S. 399.

****) Berl. Denkschriften 1820—21. S. 335 ff.

*****) Gilb. Ann. Bd. LXIX. S. 191. Bd. LXXI. S. 47. Bd. LXXIII. S. 259.

bestehende chemische Verbindung angesehen werden kann. Während die elektrischen Erscheinungen ohne Zweifel auf ein selbstständiges Etwas hindeuten, das von einem Körper auf den anderen übergeht, wobei der erstere einen Verlust an Kraft erleidet, tritt uns als charakteristisches Kennzeichen der magnetischen Körper ein polarer Zustand ihrer kleinsten Massentheilchen oder Molecüle entgegen. Immer zeigt uns ein Magnet zwei Pole und in seiner gewöhnlichen Erscheinung noch eine Indifferenzlinie, in welcher die magnetische Kraft verschwindet oder doch am schwächsten ist. Die magnetischen Erscheinungen weisen so wenig auf ein besonderes Fluidum hin, das von einem Magnet auf das Eisen oder überhaupt auf einen des Magnetismus fähigen Körper übergeht, daß man selbst dann, wenn zur Erklärung dieser Erscheinungen zwei entgegengesetzte Fluida vorausgesetzt werden, zu der Annahme genöthigt ist, daß die letzteren weder vom Magneten auf das Eisen, noch auch von einem Massentheilchen dieser Körper zu dem nächsten übergehen können, sondern eben an die Atome derselben gebunden seien. Wir halten uns daher für berechtigt, den Grund des Magnetismus in der Constitution der betreffenden Körper selber zu suchen. Denkt man sich nämlich einen Körper, welcher zwei entgegengesetzte Bestandtheile a und b enthält, die eine Anordnung zulassen, wie die beistehende Figur zeigt, so haben wir einen vollständigen Magneten mit seiner Pola-



rität, und es ist also hier gerade die Form oder vielmehr die Anordnung der Theilchen die Ursache von neuen in die Ferne wirkenden Kräften. Ob indessen dieser polare Zustand eine unmittelbare Wirkung in die Ferne äußert, lassen wir hier ganz dahin gestellt sein, und erinnern nur, daß man dieselbe füglich den Elementen des Aethers zuschreiben kann, den man aus anderweitigen Gründen in den Räumen zwischen den Körpern annimmt. Befindet sich aber in der Nähe des Magneten ein Stück Eisen, so werden die Bestandtheile b des ersten die entgegengesetzten Bestandtheile a des letzteren anziehen, die gleichartigen dagegen zurückstoßen, so daß also vom Magneten ein Bestreben ausgeht, eine ihm entsprechende Anordnung der Theilchen im Eisen herzustellen. Hierbei müssen wir nun eine, wenn auch noch so geringe Richtungsänderung der Massentheilchen des Eisens annehmen, wenn ein Magnet darauf einwirkt, und demgemäß eine Spannung zwischen den Bestandtheilen, welche in ihrer Verbindung mit einander jene Massentheilchen darstellen. Diese anomale Spannung erleiden die Bestandtheile der Massentheilchen gemäß der Richtung, in welcher ein Magnet auf sie wirkt; sie verliert sich sobald der magnetische Einfluß entfernt oder der Magnetstab umgekehrt wird, in welchem letzteren Falle die Veränderung in der Richtung der Bestandtheile die entgegengesetzte wird, wodurch denn auch die Pole einen Wechsel erfahren.

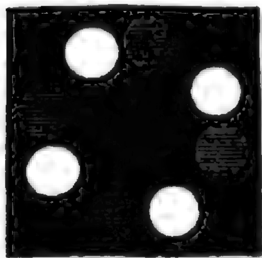
In dem Widerstande, welchen die Bestandtheile der Massentheilchen jener Spannung entgegensetzen, hat auch dasjenige seinen Grund, was man Coërcitiv-

kraft nennt. Es erklärt sich hieraus, warum auf den Unterschied der Härte oder Weichheit des Eisens hinsichtlich der Empfänglichkeit für den Magnetismus so viel ankommt. Weiches Eisen läßt sich jede Spannung gefallen, ohne bedeutenden Widerstand zu leisten, und aus demselben Grunde kehren seine Molecüle wieder leicht in ihre vorige Stellung zurück. Das Gegentheil findet beim Stahl statt; hier dauert es länger, ehe seine Massentheilchen die dem Magnetismus entsprechende Stellung erlangen, aber einmal gewonnen behalten sie dieselbe auch länger bei. Es ist bekannt, daß Schlagen, Bohren, Hämmern ꝛc. das Entstehen des Magnetismus begünstigen, den schon vorhandenen aber auch schwächen können. Dies Alles nun sind Gelegenheiten für die Bestandtheile der Molecüle, eine besondere Stellung entweder anzunehmen oder zu verlieren. Wenn nämlich ein Stab dem magnetischen Einflusse ausgesetzt ist, so sucht der letztere, wie oben gezeigt, den Massentheilchen des ersteren die den Magnetismus bedingende Richtung zu ertheilen, was ohne Zweifel durch eine Erschütterung der Massentheilchen begünstigt werden kann. Da aber die Elemente der polaren Molecüle stets in die gewöhnliche Gleichgewichtslage zurückstreben, so erkennt man leicht, wie diesem Bestreben gleichfalls eine Erschütterung zu Hülfe kommen kann, sofern nicht die erregende Ursache mit hinreichender Stärke fortwirkt. Man hat ferner die Erfahrung gemacht, daß die magnetischen Körper nur unterhalb einer gewissen Temperatur magnetisch bleiben, so daß sie ihren Magnetismus verlieren, wenn sie über dieselbe hinaus erhitzt werden. Andererseits hat man aber beobachtet, daß ein Eisenstab einen mehr als gewöhnlich starken Magnetismus annimmt, wenn man ihn während des Magnetisirens rothglühend erhält, und dann schnell abkühlt. Es scheint daher, als ob durch die Wärme die Empfänglichkeit des Eisens für den Magnetismus erhöht würde, während die schon vorhandene magnetische Kraft darunter leidet, so daß sie also ähnlich, wie jene mechanischen Ursachen, je nach den Umständen, entgegengesetzte Wirkungen hervorbringt. Wenn nämlich die Temperatur des Eisens bis zu einem gewissen Grade erhöht wird, so werden die Massentheilchen beweglicher und damit gegen äußere Einflüsse nachgiebiger; und ihre Elemente sind dann eher fähig, diejenige Stellung anzunehmen, bei welcher der Magnetismus zu Tage tritt. Durch plötzlich Abkühlung wird diese Lage fixirt, namentlich wenn der magnetische Einfluß während der Ablöschung des Eisens noch fortdauert. Umgekehrt verhält es sich, wenn ein Magnet allmälig erwärmt wird; die Spannung zwischen den Elementen der polaren Molecüle wird vermöge ihrer zunehmenden Beweglichkeit geringer, so daß sie dann in die gewöhnliche Lage, wo sie ohne Magnetismus sind, theilweise zurückkehren. Ebenso möchte hierher noch die Erfahrung gehören, daß ein Magnet an Kraft verliert, wenn er ungebraucht liegt; dies setzt gleichfalls eine Abweichung von der gewöhnlichen Lage der Molecüle voraus, welche nun allmälig, sofern nicht ein neuer magnetischer Einfluß stattfindet, verschwindet. Dagegen gewinnt ein Magnet an Kraft, wenn er durch ein Gewicht vermittelst eines Ankers belastet und dieses nach und nach vermehrt wird. Denn das Gewicht, indem es beständig herabzufallen strebt, zieht an den Atomen der polaren Molecüle, durch welche es vermöge ihrer Einwirkung auf die Theilchen des Ankers gehalten wird. Hierdurch wächst die anomale Spannung zwischen den Atomen und mit ihr der Magnetismus selbst. Reißt aber das Gewicht los, so läßt die Spannung nach, die Molecüle dehnen sich zum Theil in die gewöhnliche Lage zurück, und der Magnetismus nimmt ab. Das Abfallen des Gewichtes wirkt hier

bezüglich der Molecüle auf eine ähnliche Weise wie das Loslassen einer gespannten Feder.

An Thatsachen, welche bezeugen, daß das Magnetischwerden des Eisens von einer Bewegung der Molecüle begleitet ist, fehlt es nicht. So fand Page, daß ein Eisenstab, der von einer Drahtspirale umgeben ist, in dem Augenblick tönt, wo der elektrische Strom in die Windungen eintritt oder daraus verschwindet, also dann, wenn der Eisenstab magnetische Polarität annimmt und verliert; und Breda und Grove haben dargethan, daß das Eisen erwärmt wird, wenn es in rascher Abwechselung magnetisirt und entmagnetisirt wird, was gleichfalls ganz entschieden auf eine Bewegung der Atome hinweist.

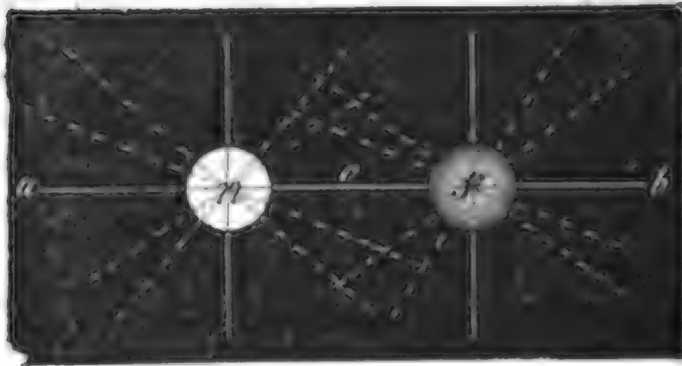
Kehren wir nun nach diesen einleitenden Betrachtungen zu den elektromagnetischen Erscheinungen zurück. Wenn der elektrische Strom einer einfachen oder zusammengesetzten galvanischen Kette durch den feuchten Zwischenleiter geht, so giebt er der chemischen Thätigkeit in der Flüssigkeit eine andere Richtung, indem er die ungleichartigen Bestandtheile aus dem Zustande der chemischen Neutralisation herausversetzt, und den einen Bestandtheil dem positiven, den anderen dem negativen Pol der Kette zuwendet. Die Elektricität, indem sie weiter durch die Metalle und den dieselbe verbindenden Leitungsdraht dringt, bringt zwar in diesen keine chemische Zerlegung, wie in der eingeschalteten Flüssigkeit, wohl aber eine Richtungsänderung oder eine Drehung in den Massentheilchen des Metalls hervor, so daß diese Theilchen, wenn sie zwei ungleichartige Elemente oder Atome enthalten, gleichfalls durch die Einwirkung der Elektricität aus dem Zustande chemischer Neutralisation theilweise heraustreten und somit freie Wirksamkeit nach Außen erlangen können. Ist nun die durch den elektrischen Strom bewirkte Anordnung der Massentheilchen in jedem Querschnitte des Leiters ähnlich der in beistehender Figur, welche einen solchen Querschnitt bezeichnen soll, so stellt der Leiter seiner ganzen Länge nach einen Transversalmagneten dar, und wenn zwischen je zwei Massentheilchen ein gewisser Abstand sich befindet, so werden die Wirkungssphären derselben nicht ganz in einander fallen.



Es ist jetzt zu zeigen, wie die elektromagnetischen Fundamentalerscheinungen, namentlich also das Umlaufen eines Magnetpols um den ganzen Umfang des Schließungsdrahtes sich erklären läßt. Zunächst versteht sich wohl von selbst, daß ein Atom als solches die Fähigkeit besitzt, nach jeder Richtung gegen ein anderes zu reagiren. In jedem bestimmten Falle wird die Reactionsrichtung diejenige sein, in welcher es mit einem anderen zusammentrifft. Sind aber einmal zwei ungleichartige Elemente oder Atome zu einem Massentheilchen mit einander verbunden, so können und müssen wir verschiedenene Richtungen, wenn man will Kraftlinien, unterscheiden, nach welchen die freie Wirkung dieser Elemente gegen ein anderes gleichartiges oder ungleichartiges Element nicht von gleicher Stärke sein wird. Wiewohl wir überzeugt sind, daß die entgegengesetzten Elemente eines Massentheilchens sich nicht blos berühren, sondern sich auch theilweise durchdringen, so wollen wir doch davon ganz absehen, und die Elemente zu größerer Deutlichkeit in der figürlichen Darstellung etwas auseinanderrücken, uns dieselben aber durch eine feste gerade Linie unter einander verbunden denken, um damit ihre chemische Vereinigung symbolisch anzudeuten. Nun folgt aus dem

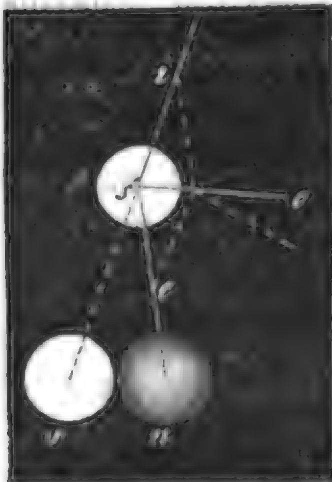
Begriff der gegenseitigen Reaction, daß die freie Wirksamkeit dieser Elemente nach außen in derjenigen Richtung am schwächsten sein wird, in welcher sie selbst am stärksten gegen einander reagiren, also hier in der Richtung von n nach s und in der umgekehrten von s nach n. Dagegen wird ihre freie Wirkung nach außen am stärksten hervortreten in den Richtungen, welche den vorher bezeichneten gerade entgegengesetzt sind, d. h. von n nach a und von s nach b. Denkt man sich ferner durch den Mittelpunkt eines jeden Elements ein Loth durch die Axe a b gezogen, so nimmt die freie Wirksamkeit unserer Elemente, von diesen Lothen an gerechnet, nach den Linien n a und s b hin allmälig zu, dagegen nach n c und s c hin allmälig ab. Stellen wir uns nun ein Element oder Atom s', Fig. II., in einem gewissen Abstande von dem Massentheilchen vor, so ergiebt sich das Resultat der gegenseitigen Einwirkung leicht mit Hülfe des Parallelogrammes der Kräfte.

I.



Die Abstoßung zwischen den beiden gleichartigen Elementen sei der Größe und Richtung nach dargestellt durch die Linie s'i, die Anziehung zwischen n und s' durch s'e; dann ist s o die Richtung, in welcher das Element fortschreitet. Diese Richtung ändert sich aber beständig, da in Folge der Bewegung die von dem gleichartigen Element des Massentheilchens ausgeübte Abstoßung stetig ab-, die Anziehung von n dagegen fortwährend zunimmt, so daß das Element s' dem Massentheilchen immer näher kommt und sich endlich an das ungleichartige Element desselben anlegt. Mit Rücksicht auf diese einfachen Demonstrationen erklären sich nun leicht die elektromagnetischen Fundamentalerscheinungen.

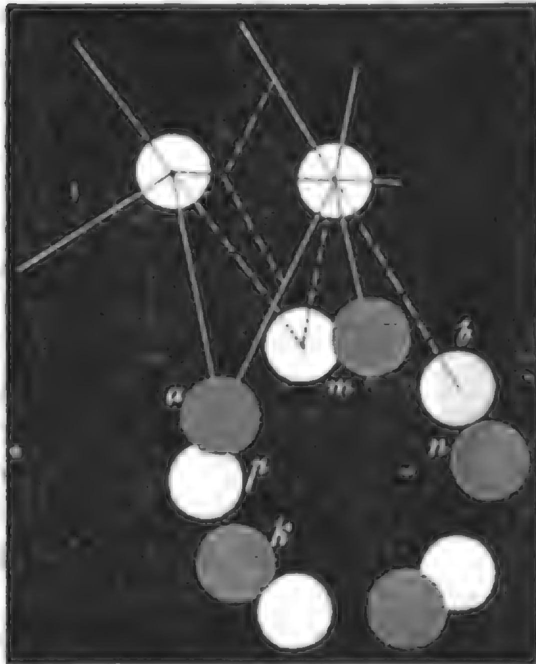
II.



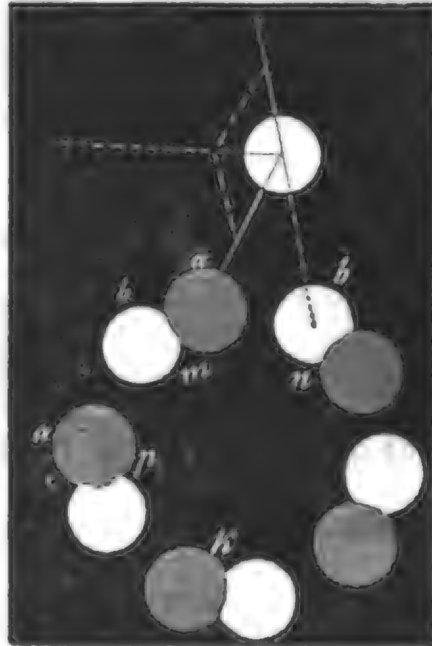
Es befinde sich in der Nähe des Querschnitts eines Stromleiters der Nord- oder Südpol einer Magnetnadel, welcher dem einen oder anderen Element der im Querschnitte zur freien Wirksamkeit gelangten Massentheilchen mehr oder weniger gleichartig ist. Wo sich nun auch der Pol befinden mag, immer wird eine Rotation desselben nach einer bestimmten Richtung erfolgen müssen. Wir wollen hier zwei Lagen (s. umstehende Fig. I. u. II. S. 821) besonders fixiren. Einmal nämlich mag sich der Pol gerade über einem Massentheilchen m, das andere mal (Fig. II.) in gleicher Entfernung von je zwei solchen Theilchen befinden. Im ersten Falle werden die Elemente des Massentheilchens m, nach dem unmittelbar Vorhergehenden wirken und den Pol für sich allein nach rechts treiben. Nun kommen aber noch hinzu die Wirkungen der Massentheilchen p und n, und zwar vorzugsweise die der Elemente a und b, deren Einfluß nach den obigen Bemerkungen größer sein wird als derjenige des Massentheilchens m. Bilden wir also nach dem Parallelogramm der Kräfte die Resultirende dieser Einwirkungen, so erhellet, daß eine Bewegung des Pols nach

der Linken erfolgen wird. Während dies geschieht, nimmt die Abstoßung zwischen ihm und dem gleichartigen Element des Molecüls m beständig zu, was ebenso bis zu einer gewissen Grenze von der Anziehung des ungleichartigen Elements a von p

I.



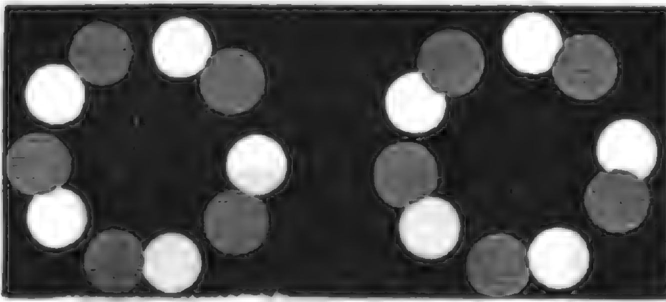
II.



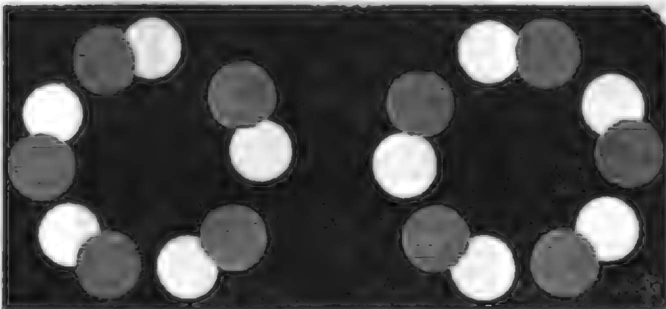
gilt, und indem nun die Massentheilchen m, p, k dieselben Einwirkungen ausüben, wie vorher n, m, p, ist der Pol genöthigt, seine Kreisbewegung um den Stromleiter in der einmal angenommenen Richtung fortzusetzen. Man sieht jetzt sehr leicht ein, daß das nämliche geschehen wird, wenn der Pol anfänglich die Lage Fig. II. hat. Zunächst ist die Richtung der Bewegung dieselbe wie vorher, und wenn nun der Pol nach links fortschreitet, so nimmt nach dem Obigen die Abstoßung von b bis zu einer bestimmten Grenze hin zu, dagegen die Anziehung von Seiten des a ab, während er zugleich in die Anziehungssphäre des dem Massentheilchen p zugehörigen Elements a hineingeräth. Die volle Abstoßungskraft des Elements b in m kann sich aber erst dann geltend machen, wenn der Pol an dem Massentheilchen m eben vorübergeschritten ist, wo dann die Abstoßung desselben Elements auf die Fortbewegung in dem anfänglichen Sinne wirkt. Daß die Rotation des Südpols in der entgegengesetzten Richtung geschehen muß, ist nunmehr ohne Weiteres klar, wenn man sich an die Stelle des weißen Kügelchens, das unseren Nordpol vorstellte, ein schwarzes denkt.

Nach denselben Principien erklären sich auch leicht die gegenseitigen Anziehungen und Abstoßungen zweier Leiter, je nachdem der elektrische Strom dieselben in gleichen oder entgegengesetzten Richtungen durchfließt. Sind die elektrischen Ströme in zwei zu einander parallelen Leitern gleich gerichtet, so wird auch in den Querschnitt beider Leiter die Anordnung der Massentheilchen ringsum dieselbe sein. Vergleicht man aber die einander zugewandten Seiten mit einander, so sieht man, daß eben bei gleicher Stromesrichtung die ungleichartigen Elemente einander gerade gegenüberliegen, was dann, wie gewöhnlich, Anziehung zu Folge hat. Wenn dagegen die Ströme in beiden Leitern entgegengesetzte Richtungen haben,

I.

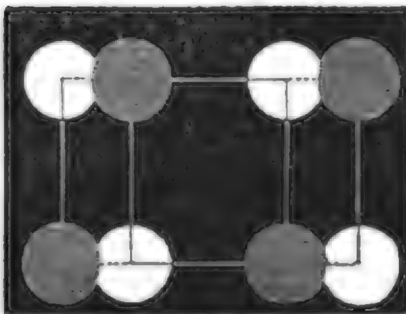


II.

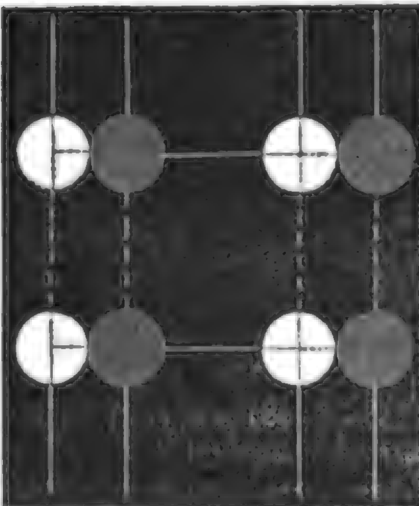


so ist die Anordnung der Massentheilchen wie in Fig. II., so daß also die gleichartigen Elemente der beiden Leiter einander zugekehrt sind, woraus Abstoßung hervorgeht. Um nun auch hier noch die beiden Hauptfälle besonders hervorzuheben, wollen wir uns zwei Massentheilchen des einen Stromleiters in einiger Entfernung gegenüberdenken zweien Theilchen des anderen Leiters. Bei gleicher Stromrichtung, also im Falle der Anziehung, gilt Fig. III., für die Abstoßung Fig. IV., wobei nicht außer Acht zu lassen ist, daß man sich die Massentheilchen eines und desselben Leiters hier durch feste gerade Linien verbunden denken muß. Je zwei einander gegenüberliegende Elemente wirken nun nach geraden Linien, die einander parallel sind, so daß die Resultirende der Anziehungen gleich der Summe derselben ist, was ebenso Fig. IV. für die Resultirende der Abstoßungen gilt. Die Resultirende der Anziehungen ist aber hier gewiß größer als die seitlichen Abstoßungen zwischen den gleichartigen Elementen (Fig. III.) und die Resultirende der Abstoßungen (Fig. IV.) größer als die seitlichen Anziehungen zwischen den ungleichartigen Elementen der gegenüberliegenden Massentheilchen.

III.



IV.



In dieser hier nach ihren Hauptmomenten entwickelten Theorie werden also die chemische und magnetische Action im Wesentlichen als identisch, die Elektricität im Acte des Strömens aber als die Ursache betrachtet, welche die ungleichartigen Elemente der Körper, falls sie letztere nicht zerlegen kann, wenigstens aus dem Zustande chemischer Neutralisation in den freier Wirksamkeit nach Außen versetzt. Daß die Elektricität sehr wohl im Stande ist, in allen Körpern, welche sie durchströmt, Molecularveränderungen hervorzubringen, unterliegt wohl begründeten Thatsachen zufolge, die wir gehörigen Orts anführen werden, keinem Zweifel. Was aber die hier gegebene Erklärung der elektromagnetischen Erscheinungen betrifft, so kann man von derselben gewissermaßen auch dann noch Gebrauch machen, wenn man den ungleichartigen Bestandtheilen der

Materie entgegengesetzte magnetische Fluida substituirt. Ueber verschiedenes andere hiermit Zusammenhängende vergleiche man den Artikel **Magnetismus**, wo auch die **diamagnetischen** Erscheinungen zur Sprache kommen werden.

Elektrometer (v. d. griech. *μέτρον* Maß), **Elektroskop** (v. d. griech. *σκοπεῖν* beobachten), **Elektricitätsmesser**, **Elektricitätszeiger**, ist der Name verschiedener Instrumente, welche dazu dienen, die Art und Stärke der Elektricität eines Körpers zu untersuchen, so wie solcher Apparate, mittelst deren die elektrischen Erscheinungen in einem bestimmten Grade der Stärke hervorgebracht werden können. Ist das Instrument vorzugsweise bestimmt, schwache Elektricitäten zu beobachten, so nennt man es wohl auch **Mikroelektrometer** (v. d. griech. *μικρός* klein). Diejenigen Apparate, welche vorzugsweise zur Beobachtung der atmosphärischen Elektricität benutzt werden, heißen **Luftelektrometer**; solche endlich, deren man sich bedient, um die Grade der verstärkten Elektricität bei Flaschen und Batterien genauer zu bestimmen, heißen **Auslade-** oder **Ladungs-Elektrometer**.

Die Worte **Elektrometer** (Elektricitätsmesser) und **Elektroskop** (Elektricitätszeiger) bezeichnen der Wortbedeutung nach verschiedene Instrumente, indem ein **Elektrometer** eigentlich ein Instrument wäre, mit welchem die Elektricität, wo und unter welchen Umständen sie auch vorkommen mag, nach allgemein bekannten Maßen so gemessen werden könnte, wie etwa der Luftdruck mittelst des Barometers oder die Wärme mittelst des Thermometers; **Elektroskop** dagegen ein Instrument bezeichnet, welches nur im Allgemeinen das Vorhandensein positiver oder negativer Elektricität in größerer oder geringerer Stärke anzeigt. Die meisten der bisher construirten sogenannten Elektrometer sind aber eben nichts anderes als Elektroskope, die man mit einer Gradeintheilung versehen hat.

Die Mehrzahl der Elektroskope und Elektrometer gründet sich auf diejenige Wirkung der Elektricität, welche sich in der Anziehung und Abstoßung kleiner Körper äußert; schon hierdurch ist aber ihre allgemeine Anwendbarkeit zur Messung der Elektricität beschränkt, indem die galvanische Elektricität, welche doch erwiesenermaßen ihrem Wesen nach dieselbe wie die Reibungselektricität ist, die Eigenthümlichkeit zeigt, daß sie oft bei einer sehr geringen Abstoßungskraft die heftigsten Wirkungen der Erhitzung, chemische und magnetische Effecte hervorbringt. Zur Messung der galvanischen, wie überhaupt der bewegten Elektricität bedient man sich vorzüglich der sogenannten **Galvanometer** oder **Multiplicatoren**. Siehe d. Art. Die sogenannte **Elektrometrie** (Elektricitätsmessung) beschäftigte sich meistens mit der Stärke der Spannung oder der Größe der anziehenden und abstoßenden Kraft, welche die durch Reibung erzeugte Elektricität in ungleichen Abständen zeigt, indem man sich bemühte, die hierbei stattfindenden Gesetze aufzufinden. Ehe hierüber einiges Nähere mitgetheilt wird, wollen wir die Beschreibung der bekanntesten und vorzüglichsten mit dem Namen Elektroskop und Elektrometer bezeichneten Instrumente geben.

Die ersten Elektrometer sind aus der im Art. **Elektricität** angegebenen, zuerst von **Gray** beobachteten Erscheinung hervorgegangen, daß neben einander hängende Fäden, wenn ihnen Elektricität mitgetheilt wird, einander abstoßen, welche Abstoßung aufhört, sobald sie ihrer Elektricität beraubt sind. Der erste,

welcher auf den Gedanken kam, zwei neben einander hängende linnene Fäden zu einem Elektrometer zu benutzen, indem er den Winkel beobachtete, welchen die beiden Fäden mit einander machten, sobald ihnen Elektricität mitgetheilt wurde, und nach der Größe dieses Winkels den relativen Grad ihrer Elektricität bestimmte, war du Fay und nach ihm Nollet. Um ein genaueres Maß dieses Winkels zu haben, und weil ein anderer leitender Körper mit den Fäden nicht in Berührung gebracht werden kann, ohne daß diesen durch denselben die Elektricität entzogen wird, schlug Nollet vor, den Winkel der Fäden durch ihren auf einem Brette aufgefangenen Schatten mittelst eines Gradbogens zu messen. Waiz bediente sich seidener Fäden, an welche kleine Gewichte oder Metallplättchen so aufgehangen waren, daß sie sich berührten und die, wenn ihnen ein elektrischer Körper genähert wurde, sogleich aus einander gingen. Gralath verfertigte nach Ellicot's Vorschlag ein Elektrometer, welches in einer Wage bestand, deren eine Schale über einen elektrischen Körper gehalten von diesem angezogen wurde und dann nach Maßgabe der Stärke der Elektricität ein größeres oder kleineres in der anderen Wagschale liegendes Gewicht emporhob.

Nach du Fay's Einrichtung verfertigte 1753 Canton *) das noch jetzt in vielen Fällen sehr anwendbare Korkkugelelektroskop, welches sehr einfach in zwei an einem linnenen Faden neben einander aufgehängten sauber abgedrehten Kügelchen von Kork oder Hollundermark besteht. Man kann mittelst dieses Instrumentes sehr schwache Grade der Elektricität entdecken und auch die entgegengesetzten Elektricitäten mittelst desselben wahrnehmen.

Im Jahre 1772 entdeckte Henly das Quadrantenelektrometer, welches Priestley **) beschrieben hat. Dasselbe steht auf einem kleinen Gestelle, von welchem es beliebig abgenommen und an den ersten Leiter der Elektrisirmaschine oder sonst wohin befestigt werden kann. Es besteht aus einem senkrecht stehenden Stabe, der oben kugelförmig abgerundet ist und an dem anderen Ende ein Messingblech hat, welches man nach Gelegenheit auf den ersten Leiter oder auf den dazu gehörigen Fuß setzen kann. An dem oberen Theile des Stabes ist ein elfenbeinerner in Grade getheilter Halbzirkel befestigt, in dessen Mittelpunkte der Zeiger an einer feinen Axe von Messing steckt. Der Zeiger selbst ist ein sehr feines Stäbchen, welches von dem Mittelpunkte des getheilten Halbcirkels bis an das Messingblech reicht, und trägt an seinem unteren Ende ein Korkkügelchen, welches sehr fein abgedreht ist. Das beste Holz zum Stabe und zum Zeiger dieses Elektrometers ist Buchsbaum. Beide müssen wohl abgerundet und so glatt als möglich sein. Wenn dieses Elektrometer nicht elektrisirt ist, so hängt der Zeiger mit dem Stabe parallel; wird es aber elektrisirt, so weicht er von dieser Lage ab und zeigt am Halbcirkel die Grade, aus welchen sich auf die Stärke der Elektricität schließen läßt.



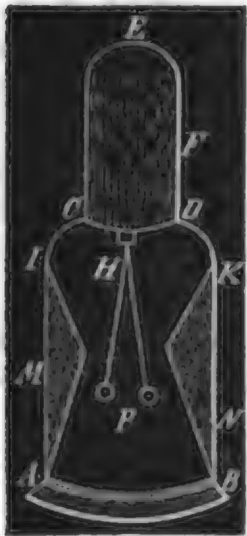
Eine zur Verbindung mit dem Conductor bequemere Einrichtung, bei welcher auch die beim Henly'schen Elektrometer nachtheilige Seitenrepulsion vermieden

*) Phil. Transact. Vol. XLVIII. P. 1. No. 83.
**) Phil. Transact. Vol. LXII. No. 26.

ist, hat Langenbucher *) seinem Elektrometer gegeben. Zwei 6 Zoll lange Glassäulen stehen 3 Zoll weit auseinander, auf der einen befindet sich ein 5 Zoll hohes und 1 Zoll breites messingenes Plättchen, an dessen unteres Ende ein krummgebogener Draht mit einer Kugel eingeschraubt ist. Am oberen Ende hängt ein buchsbaumener Zeiger, aber ohne Korkkugel, herab. Auf der anderen Seite steht ein in Grade getheilter Halbcirkel von Elfenbein oder gedörrtem Holze, dessen Mittelpunkt in den Aufhängepunkt des Zeigers fällt. Alles, die Messingplatte, die Zeiger und den Halbmesser ausgenommen, ist mit Siegellack überzogen. Will man sich dieses Elektrometers bedienen, so wird die Kugel an dem krummgebogenen Drahte mit dem elektrisirten Körper verbunden.

Cavallo **) verbesserte das von Canton angegebene Elektroskop, indem er es in ein gläsernes Gehäuse einschloß. Adams ***), welcher mehrere derartige Instrumente verfertigte, gab folgende Beschreibung.

Der Haupttheil dieses Flaschenelektroskops ist eine Glasröhre CDMN, welche unten auf das hölzerne oder auch messingene Stück AB gekittet ist, woran man das Instrument hält, wenn man es zur Untersuchung der atmosphärischen Elektricität gebraucht. Der obere Theil des Rohres CDMN läuft am Ende etwas enger zu, und ist ganz mit geschmolzenem Siegellack überzogen. In dieses enger zulaufende Ende ist eine dünne Glasröhre gekittet, deren unteres, gleichfalls mit Siegellack bedecktes Ende in der Röhre CDMN ein wenig hervorragt. In diese dünne Röhre ist ein Draht gekittet, welcher mit seinem unteren Ende bis an das platte Stück Eisenbein H reicht, das mittelst eines Korkes in die Röhre befestigt ist. Das obere Ende des Drahtes ragt etwa $1/4$ Zoll über die Röhre heraus, und schraubt sich in die messingene Kapsel EF, welche unten offen ist, und dazu dient, die mit Siegellack überzogenen Theile des Instruments gegen den Regen und dergleichen zu sichern. Die conischen Korke P, welche durch ihr Zurückstoßen die Elektricität anzeigen, sind bei diesem Elektroskope so klein, als man sie nur verfertigen kann, und an sehr feinen Silberdrähten aufgehangen. Diese Drähte sind oben in Ringe gebogen und hängen damit sehr lose in dem flachen Stücke Elfenbein H, das zu diesem Behufe zwei Löcher hat. Durch diese Art der Aufhängung wird die Reibung ganz unbedeutend, und daher das Instrument gegen einen geringen Grad der Elektricität empfindlich. JM und KN sind zwei schmale Stanniolstreifen, welche an der inneren Seite der Röhre CDMN befestigt sind, und mit dem hölzernen Boden AB in Verbindung stehen. Sie dienen zur Ableitung der Elektricität, welche dem Glase durch Berührung der Korke mitgetheilt wird, und bei einiger Anhäufung der freien Bewegung der Korke hinderlich sein würde.

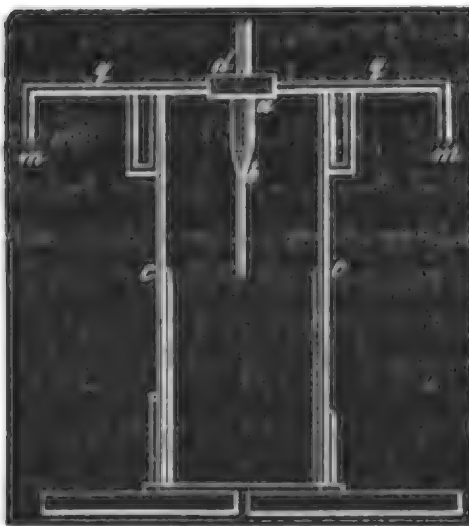


Wenn man sich des Cavallo'schen Elektroskopes bedienen will, um geringe Grade der Elektricität, so wie deren Beschaffenheit (ob sie positiv oder negativ)

*) Beschreibung einer beträchtlich verbesserten Elektrisirmaschine. 1780. S. 44.
**) Vollständige Abhandl. von der Elektricität. 4. Aufl. Leipzig 1797. Bd. II. S. 19.
***) Versuche über die Elektricität. S. 164.

bemerkbar zu machen, so ist es nothwendig, daß die Korkkügelchen schon vorher elektrisch gemacht worden sind und daher von einander stehen. Es läßt sich aber durch Mittheilung den Korkkügelchen schwer oder gar nicht Elektricität ertheilen, weil die Kappe, von welcher sie herabhängen, sowohl abgerundet als glatt ist, daß sie schwächere Grade von Elektricität gar nicht annimmt und auch selbst von einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange sogar bei der Berührung wenig afficirt wird. Man theilt daher den Korkkügelchen durch Vertheilung *) Elektricität mit, zu welchem Zwecke man, je nachdem man die eine oder die andere Elektricität den Korkkügelchen ertheilen will, eine geriebene Glasröhre oder Siegellackstange der Kappe ohne das Glas zu berühren nähert. Die Kügelchen gehen aus einander, indem sie eine dem genäherten Körper gleichartige Elektricität annehmen. Berührt man, ohne den elektrischen Körper vorher zu entfernen, mit dem Finger die Kappe, so fallen die Korkkügelchen zusammen, gehen aber sogleich wieder eben so weit wie vorher von einander, wenn man nun erst den Finger von der Kappe und dann den elektrischen Körper entfernt. Jetzt aber gehen die Kügelchen mit der entgegengesetzten Elektricität wie vorher aus einander, d. h. wenn der genäherte geriebene Körper eine Glasröhre war, mit negativer, wenn er eine Siegellackstange war, mit positiver Elektricität. Diese Elektricität und die daraus folgende Divergenz behalten die Kügelchen sehr lange, bei trockener Witterung stundenlang, und man kann sie daher in diesem Zustande benutzen, um die Elektricität irgend eines geriebenen Körpers an ihnen zu prüfen. Ist nämlich die Elektricität des genäherten Körpers die gleichnamige derjenigen, welche die Kügelchen haben, so gehen diese noch weiter aus einander; ist sie aber die entgegengesetzte, so gehen die Kügelchen zusammen.

Bei weitem empfindlicher als alle bisher erwähnten Elektroskope ist das von Bennet **), bei dem an die Stelle der Korkkügelchen Goldblättchen gesetzt sind, und welches daher den Namen Goldblattelektroskop erhalten hat. Die Kügelchen von Kork oder Hollundermark haben auch die Unvollkommenheit, daß sie zuweilen einige Zeit an einander haften bleiben, bis sie dann mit einem gewissen Ruck aus einander gehen, ein Nachtheil, welcher bei dem Bennet'schen Elektroskop vermieden werden kann. Die wesentliche Einrichtung dieses Goldblattelektroskops ist folgende. Zwei Streifchen von geschlagenem Golde ungefähr 2 Linien breit und 18 bis 20 Linien lang hängen an der Seitenfläche eines keilförmig zugeschnittenen Stückes Holz oder Zinn b, woran sie mit ein wenig Eiweiß oder Firniß angekittet werden, dicht neben einander und parallel mit einander in der Mitte eines Glascylinders herunter, welcher etwa $3^1/_2$ Zoll hoch ist und $1^1/_2$ Zoll Durchmesser hat. Damit diese Glasröhre noch besser isolire, wird der obere Theil

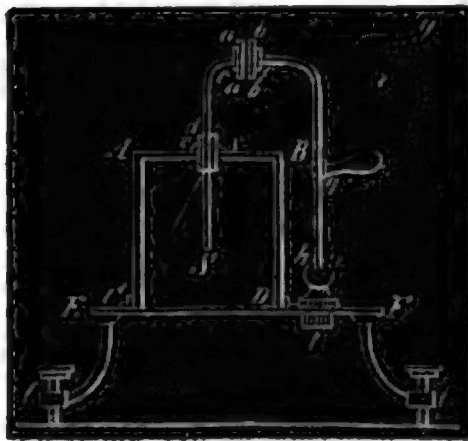


*) Siehe d. Art. Elektricität S. 726.

**) Phil. Trans. T. LXXVII. Leipziger Sammlungen zur Physik und Naturgeschichte. Bd. IV. Stück 4. S. 419.

derselben ungefähr $1\frac{1}{2}$ Zoll weit mit Siegellack überzogen. Der untere Theil der Röhre paßt knapp in eine messingene Einfassung, welche an den Seiten mit Leder oder Sammet ausgefüttert und unten an den hölzernen Fuß des Instrumentes angeschraubt ist. An dem metallenen Deckel q von 4 Zoll im Durchmesser ist ein mit starkem Seidenzeuge gefütterter Ring eingelöthet, welcher um den oberen Theil der gläsernen Röhre genau schließt. Der metallene Deckel q ist auch mit einem $\frac{3}{4}$ Z. breiten niedergehenden Rande m versehen, um dadurch die Glasröhre bei Versuchen im Regenwetter gegen die Nässe zu schützen. In der Mitte des Deckels ist ein Loch von 10 Linien im Durchmesser, worin das Stück d eingeschraubt wird, an welches die kleine messingene Röhre a gelöthet ist, worein das Stück Holz oder Metall b gehörig eingepaßt ist. Von außen wird auch an dieses Metallstück ein 1 bis $1\frac{1}{2}$ Fuß langer zugespitzter eiserner oder messingener Draht bei Untersuchung der atmosphärischen Elektricität angeschraubt. Das ganze Stück d läßt sich bequem herausnehmen, um die Goldstreifen ankleben zu können. Innerhalb der Glasröhre sind an zwei entgegenstehenden Seiten 3 bis 4 Linien breite Stanniolstreifen c, c angeleimt, um die Elektricität von den Goldstreifchen, welche bis dahin aus einander fahren, aufzunehmen und durch den Boden fortzuleiten. In derselben Absicht hat Böckmann *) auch den unteren Boden des hölzernen Fußes mit Stanniol überzogen.

Parrot **) bedient sich nur eines Goldblättchens, die Stelle des anderen vertritt ein unbeweglicher Metallstab S, von derselben Breite wie das Goldblättchen, und vergoldet, der neben demselben herabgeht, sich nach oben bis d verlängert, und daselbst umgebogen ist, um die eine Condensatorplatte a a anschrauben zu können und in eine Glasröhre d eingekittet, die durch eine Hülse von Metall v s an die Glasplatte A B angekittet wird, durch welche sie $\frac{2}{3}$ ihrer Länge hindurchgeht. Eine andere Metallstange ist in einem Charniergelenke durch den Fuß i l auf der Metallplatte E F aufgeschraubt, die das Ganze trägt, und selbst auf drei Schraubenfüßen l l ruht, durch welche die Metallplatte E F in eine genau horizontale Lage gestellt werden kann. Das Charnier ist so eingerichtet, daß man die andere Scheibe des Condensators b b bis in die Lage x y bringen und wieder in die verticale Lage parallel mit a a und nicht weiter bringen kann. Eine kleine Handhabe g, die an die Stange c h befestigt ist, dient diese Bewegungen vorzunehmen. Das gläserne Gehäuse des Elektroskops ist übrigens von länglicher viereckiger Gestalt, wie die Zeichnungen angeben. Da die bei dem gewöhnlichen Goldblattelektrometer an den Seiten des Glases angebrachten Stanniolstreifen auf die Goldblättchen wirken, und durch Anziehung ihre Divergenz vermehren, und zwar um so stärker, je größer ihre Divergenz ist, so substituirte Parrot denselben einen aus einem Messingdrahte verfertigten Bogen

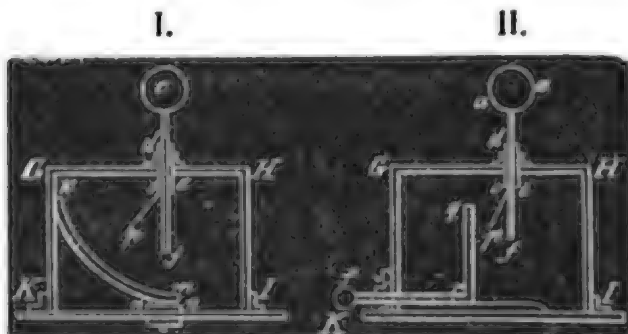


*) Gren's Journ. der Physik. Bd. I. S. 330.

**) Entretiens sur la physique. Tom. V. Dorpat 1822. T. III. p. 86.

km, (Fig. I.) der mit seinen Füßen nn mit der Metallplatte KJ, welche den Boden des Glaskastens ausmacht, verbunden ist. Der Mittelpunkt dieses Bogens ist in o, derjenige Punkt, wo das Goldblättchen an den Stab angeleimt ist, das also den Radius desselben bildet, und der Bogen äußert also eine ganz gleichförmige Wirkung auf das Goldblättchen, in welcher Lage sich auch dasselbe befinden möge. Um die Empfindlichkeit dieses Elektroskopes noch mehr zu erhöhen, hat Parrot demselben noch eine andere Einrichtung gegeben. Der Bogen wird nämlich weggelassen, und an der Stelle

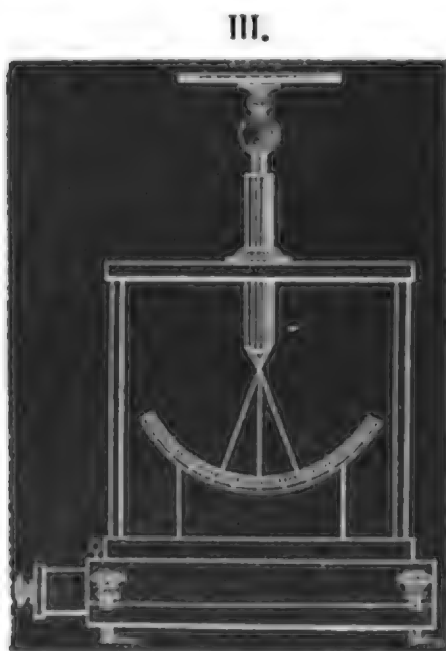
I. II.



desselben befindet sich ein vertical parallel mit dem Goldblättchen aufgerichteter Metallstab qr, (Fig. II.) der an einem in halbe Linien getheilten horizontalen Metallstabe rs befestigt ist. Indem der letztere sich über einem anderen in der Metallplatte Kl befestigten Stabe fortschieben läßt, kann der verticale Metallstab bis zur Stange ef, an welcher das Goldblättchen hängt, einerseits beliebig genähert, andererseits so weit davon entfernt werden, daß er keinen merklichen Einfluß mehr auf dasselbe ausübt, selbst wenn das Goldblättchen bis 90° divergirt.

Gegenwärtig giebt man dem Goldblattelektrometer häufig folgende von Buff angegebene Einrichtung. Durch den Deckel eines Gefäßes geht ein durch Seide wohlisolirter Messingstab, der oben eine Messingplatte trägt, während an seinem unteren Ende zwei Streifen aus Blattgold herabhängen. Das Gefäß besteht aus Platten von Spiegelglas, welche an den Kanten luftdicht verkittet sind. Unten am Boden befindet sich eine Schieblade, welche durch eine Oeffnung mit dem innern Raume communicirt, außerdem aber sehr dicht schließt. In dieser Schieblade liegen einige Chlorcalciumstücke, um die Luft im Apparate trocken zu erhalten. Nähert man der Platte dieses Instrumentes einen elektrischen Körper, so entsteht nach dem Gesetze der elektrischen Vertheilung eine Divergenz der Goldblättchen, welche verschwindet, sobald man die Platte ableitend berührt. Entfernt man hierauf die Ableitung und dann auch den elektrischen Körper, so divergiren die Goldblättchen von Neuem. Die Größe der Divergenz läßt sich an einem Gradbogen bestimmen. Statt des vierseitigen Glasgefäßes

III.



kann man übrigens auch eine Glasflasche nehmen, durch dessen Hals der Metallstab mit den Goldblättchen isolirt hindurchgeht (siehe d. Art. Condensator. Bd. I. S. 1001. Fig. III.).

Durch einige vergleichende Versuche lassen sich die Anzeigen dieses Elektrometers unter einander vergleichbar machen. Zu diesem Behufe kann man sich eines Probe-

scheibchens bedienen, d. h. eines Blattgoldscheibchens von etwa 4 Linien Durchmesser, das an einem Schellackstäbchen befestigt ist. Setzt man dieses Scheibchen irgendwo auf die Oberfläche einer schwach elektrisirten Metallkugel, die auf einem Glasfuße isolirt ist, so nimmt dasselbe beim Zurückziehen die an der Berührungsstelle befindliche Elektricität hinweg, und diese kann man vollständig auf das Elektrometer übertragen, wenn man das Scheibchen auf die Mitte der Elektrometerplatte setzt. Und wenn man nun das Scheibchen von Neuem mit der Kugel in Berührung bringt, so nimmt es eine der vorigen gleiche Elektricitätsmenge auf, da der Verlust, den die Kugel in jedem einzelnen Falle erleidet, nur sehr gering ist. Ueberträgt man nun auf diese Weise rasch hinter einander proportionale Elektricitätsmengen auf das Elektrometer, so überzeugt man sich durch Beobachtung des jedesmaligen Ausschlages der Goldblättchen leicht, daß die Ausschläge oder Divergenzen unter Voraussetzung einer geringen Anzahl von Graden den mitgetheilten Elektricitätsmengen proportional sind, so daß also z. B. eine Divergenz von 5° fünfmal so viel freie Elektricität im Instrumente anzeigt als eine Divergenz von 1°. So hat man dann auch innerhalb gewisser Grenzen ein Maß für die Elektricitätsmenge, welche durch eine äußere vertheilend wirkende elektrische Kraft in den Goldblättchen frei geworden ist.

De Luc *) hat im Jahre 1786 ein sogenanntes Fundamentalelektrometer angegeben und zugleich Vorschriften mitgetheilt, wie dieses Elektrometer dazu dienen könne, andere Elektrometer für alle Fälle von größerer oder geringerer Intensität der Elektricität zu verfertigen, so daß man hierdurch allgemein vergleichbare Elektrometer erhielte. Doch ist dasselbe wegen großer Schwierigkeiten in der Ausführung nicht in Gebrauch gekommen.

Bei weitem größeren Eingang als de Luc's Vorschläge haben die von Volta **) gefunden. Zu Beobachtung geringer Grade der Elektricität und namentlich der Luftelektricität schlägt Volta vor, statt der bisher gewöhnlich gebrauchten Metalldrähte mit Kork- oder Hollundermarkkügelchen Strohhalme von $^1/_4$ Linie Dicke ohne Kugeln in Anwendung zu bringen. Diese Strohhalme werden in leicht beweglichen Ringen nahe neben einander (aber nicht bis zur Berührung, damit sie nicht an einander haften) in vierseitigen gläsernen Flaschen aufgehangen. Die Flaschen haben eine Breite von 20 bis 26 Paris. Linien, und ihre eine Seitenfläche ist mit einem Papierstreifchen versehen, auf dem sich eine Scale befindet, um das Auseinandergehen der Halme zu messen. Im Uebrigen hat das Instrument dieselbe Einrichtung wie das Goldblattelektrometer. Bei der einfachen Einrichtung der Volta'schen Elektrometer lassen sich leicht gleiche Elektrometer verfertigen, wenn man zu denselben gleich große und gleich gestaltete Flaschen, gleich lange und gleich starke Stohhalme und gleiche Scalen nimmt; auch kann man Instrumente von verschiedener vergleichbarer Empfindlichkeit erhalten durch Abänderung der Dicke und Länge der Strohhalme. Volta nahm zu den empfindlichsten Elektrometern Strohhälmchen von 2 Paris. Zoll Länge und $^1/_6$ Linie Dicke. Ein geringer Unterschied in der Dicke war von nur unbedeutendem Einflusse. Je

---

*) Nouvelles Idées sur la meteorologie 1786.

**) Brugnatelli biblioteca fisica d'Europa; Alex. Volta meteorologische Briefe mit Anmerkungen des Herausgebers. Leipzig 1793. 8.

dünner die Strohhälmchen genommen werden, desto näher können sie, ohne sich zu berühren, mit ihren Axen gebracht werden.

Um ein minder empfindliches Elektrometer zu erhalten, nimmt man Strohhälmchen von 1 Paris. Zoll Länge und von einer verhältnißmäßig größeren Dicke. Die Empfindlichkeit des Elektrometers kann auch durch Vermehrung des Gewichts der Strohhalme vermindert werden, indem die kleinen Metalldrähte, welche in sie hineingesteckt werden, von größerer Länge genommen werden.

Man kann dem Strohhalmelektrometer auch eine Einrichtung geben, bei welcher es mit dem Henly'schen Quadrantenelektrometer vergleichbar wird. Zu dem Ende läßt Volta den Zeiger, welcher in einem Kügelchen sich endet, zwischen zwei in Grade getheilten Halbkreisen spielen, auf welche Weise am besten die Seitenabstoßung vermieden wird, welche bei dem Henly'schen Elektrometer von nachtheiligem Einfluß ist. Um derartige Quadrantenelektrometer vergleichbar zu machen, müssen zwei feste Punkte angenommen und der Abstand beider von einander muß in gleiche Theile getheilt werden. Als einen dieser Punkte nimmt man natürlich denjenigen an, auf dem sich der Zeiger befindet, sobald die Elektricität 0 ist; derselbe wird als der Nullpunkt der Scale angenommen. Zu Bestimmung des zweiten festen Punktes bei 45° des Halbkreises schlägt Volta vor, eine messingene Platte von 5 Zoll im Durchmesser und am Rande 3 bis 4 Linien dick zu nehmen, an einem recht empfindlichen Wagebalken aufzuhängen, so daß sie gerade 2 Paris. Zoll von der Oberfläche einer unterhalb befindlichen mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehenden Metallplatte oder auch nur eines recht ebenen Tisches absteht; und eine Leidner Flasche so weit zu laden, daß die Elektricität, welche sie dieser isolirt aufgehängten Scheibe mittheilt, eine hinlänglich starke Anziehung veranlaßt, um dadurch eben das Gewicht von 12 Gran zu überwinden. Diese Spannung der Leidner Flasche giebt dann den zweiten festen Punkt des Quadrantenelektrometers, dessen Zeiger man durch Vergrößerung oder Verkleinerung der an ihm befestigten Kugel so zurichten kann, daß er dadurch gerade auf 45° gehoben wird. Die so eingerichteten Quadrantenelektrometer stimmen, wie in den festen Punkten so auch in den übrigen Graden, mit einander überein. Ein solches Quadrantenelektrometer kann auch mit dem Strohhalmelektrometer vergleichbar gemacht werden; Volta bemerkt indeß, daß das Quadrantenelektrometer nur vom 10. bis zum 40. Grade und wenn von völliger Genauigkeit die Rede sei, nur vom 15. bis 35. Grade einen gleichförmigen und mit dem Gange des Strohhalmelektrometers vergleichbaren Gang habe; unterhalb und oberhalb dieser Grade aber Correctionen erfordere, indem es im Anfange viel langsamer steige und bei den ersten Graden ebenso viel Elektricität nöthig sei, um den Zeiger um Einen Grad zu erheben, als zwischen 15 und 35 um 3 Grade.

Marechaux's *) so genanntes Mikroelektrometer ist im Wesentlichen ähnlich dem Bennet'schen Elektrometer nach Parrot's Verbesserung, und sollte vorzugsweise zur Messung der elektrischen Spannung einzelner Plattenpaare sowohl als auch Volta'scher Säulen dienen. Dasselbe leidet jedoch an mehreren nicht unbedeutenden Mängeln **).

---

*) Gilb. Ann. Bd. XVI. S. 115.
**) Erman in Gilb. Ann. Bd. XXV. S. 18.

Behrens brachte zuerst in Vorschlag, der Volta'schen Säule sich zu bedienen, um mittelst eines Goldblättchens die schwächsten Grade von Elektricität zu entdecken und zugleich ohne weiteres die Art der untersuchten Elektricität (ob positiv oder negativ) zu bestimmen. Nach Erfindung von Zamboni's trockener Säule verfertigte v. Bohnenberger*) hiernach das nach ihm genannte Elektroskop.

Das Elektroskop ist in einem 3½ Paris. Zoll hohen und 2½ Paris. Zoll weiten cylindrischen Glase enthalten, welches mit einem messingenen Deckel versehen ist. Zwei trockne elektrische Säulen, von denen jede aus 400 Scheibchen zusammengeleimten Gold- und Silberpapiers von 3 Linien Durchmesser besteht, und sich in einer gefirnißten Glassäule befindet, sind die eine mit ihrem positiven die andere mit ihrem negativen Pole an dem Deckel angeschraubt, so daß sie, wenn der Deckel aufgesetzt ist, vertical herunterhängen; und auf dem Deckel ist die Verschiedenheit der beiden anliegenden Pole durch + und — angezeigt. Unter jeder Säule befindet sich eine etwas vorstehende abgerundete messingene Fassung, welche noch ¼ Zoll von dem Boden und einige Linien von dem Rande des Glases absteht, und mit der das untere Ende der Säule in leitender Gemeinschaft steht. Die Axen der beiden Säulen sind 1'' 7''' von einander entfernt und können einander noch näher gebracht werden. Der elektroskopische Körper ist ein 2½ Zoll langes und 3 Linien breites Goldblättchen, welches genau in der Mitte zwischen beiden Säulen und mit ihren Axen parallel an dem unteren Ende eines Drahtes hängt, der sich in einer innen und außen gefirnißten Glasröhre befindet, welche durch den Mittelpunkt des Deckels geht. Der Draht geht durch einen Korkstöpsel, der die Röhre von oben verschließt, und berührt sie besserer Isolirung halber nirgends. Er endigt sich oben mit einer Kugel, auf welche sich eine Condensatorplatte aufschrauben läßt.

Wenn man dieß Elektroskop brauchen will, so verbindet man den metallenen Deckel durch einen Draht mit der Erde und berührt den Knopf des Drahtes mit einem guten Leiter (welches die trockene Hand nicht ist), um sicher zu sein, daß er keine freie Elektricität behalte. Da die metallenen Fassungen, zwischen welchen das Goldblättchen genau in der Mitte hängt, in gleichem Grade, die eine positiv, die andere negativ elektrisch sind, so ziehen sie das Goldblättchen mit gleicher Kraft an, bis diesem durch den Draht, an welchem es hängt, Elektricität zugeführt wird. Sogleich nähert es sich der Fassung, welche in dem entgegengesetzt elektrischen Zustande ist, indem es von ihr angezogen, von der anderen abgestoßen wird, kommt mit ihr in Berührung, wird dann von ihr abgestoßen, schlägt an die andere Fassung an und geht so lange zwischen beiden hin und her, bis es sich an einer der beiden Säulen anhängt, von der es durch ableitende Berührung des Drahtes und eine kleine Erschütterung leicht wieder los zu machen ist. Die Art der zu untersuchenden Elektricität zeigt das Zeichen derjenigen Säule auf dem Deckel, deren unterem Ende das Goldblättchen sich zuerst nähert, oder deren unteres Ende bei stärkerer Elektricität zuerst berührt wird. Stark elektrische Körper müssen dem Elektroskope aus großer Entfernung genähert, schwach elektrische dagegen näher zuweilen bis zu unmittelbarer Berührung mit dem Knopfe gebracht werden. Um sehr schwache

---

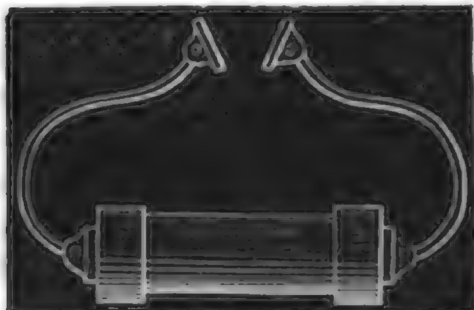
*) Blätter für Naturwissenschaft und Arzneikunde von Autenrieth und Bohnenberger. Bd. I. S. 380; Gilb. Ann. Bd. I. S. 190.

Elektricitäten zur Wahrnehmung zu bringen, bedient man sich des Condensators, welcher auf dem Elektroskope aufgeschraubt wird.

Der so hohe Grad der Empfindlichkeit solcher Elektroskope hängt von der Feinheit und der geringen Ausdehnung des Goldblättchens, besonders aber von dem Materiale ab, aus welchem man die trockenen Säulen baut. Sehr kräftige Säulen liefern Scheiben aus sehr feinem, ungeleimtem Postpapiere, die auf einer Seite mit feinem Silber belegt, auf der anderen mit Manganoxyd bestrichen sind. Blätter dieser Art liefern schon bei einem Durchmesser von 2 Linien, wenn ihrer 300 auf einander geschichtet werden, ein sehr empfindliches Elektroskop. Die besten Dienste leisteten aber bisher solche Scheiben aus ungeleimtem, gut geglätteten englischen Goldpapiere, das auf einer Seite mit Silber, auf der anderen mit fein zertheiltem Zinke überlegt ist. Als Bindemittel für diese Metalle wird Gummiwasser gebraucht. 100 solche Blättchen von 1 Linie Durchmesser sind schon hinreichend, um ein sehr empfindliches Elektroskop zu liefern.

Eine große Unannehmlichkeit des Bohnenberger'schen Elektroskopes besteht darin, daß häufig das Goldblättchen an die eine Fassung und die Glasröhre selbst, die sich von dem unteren Pole aus allmälig mit Elektricität ladet, anhängt und dann gewöhnlich nicht ohne zu zerreißen abgelöst werden kann. Becquerel bedient sich, um die erwähnte Unbequemlichkeit zu vermeiden und zugleich die Empfindlichkeit des Instrumentes noch zu vermehren, statt zweier Zambonischer Säulen nur einer, welche in horizontaler Richtung auf einem hölzernen Untersatze befestigt ist. An jedem Pole derselben ist in verticaler Richtung eine längliche Metallplatte von ungefähr 3 Zoll Länge befestigt und das Goldblättchen zwischen diesen beiden Platten aufgehängt. Das Goldblättchen bietet ihnen so alle seine Punkte dar, und die Einwirkung muß daher auf dasselbe bedeutender sein, als wenn es nur mit seinem unteren Ende der Wirkung der Pole zweier Säulen ausgesetzt ist. Dieses Instrument hat eine so große Empfindlichkeit, daß bei trockenem Wetter eine mit Tuch geriebene Glasröhre schon aus einer Entfernung von 8 bis 10 Fuß darauf wirkt; bei dem Bohnenberger'schen Instrumente dagegen erst in einer Entfernung von 3 Fuß.

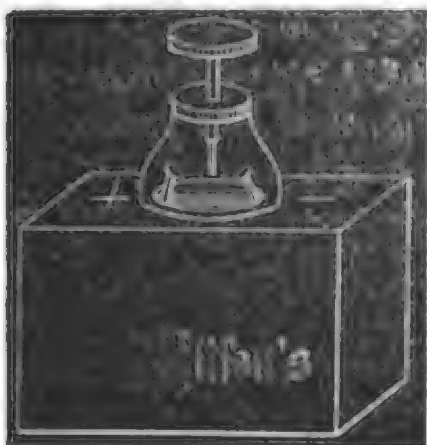
Die wesentlichste Verbesserung erhielt dieses Elektroskop endlich durch Fechner *). Eine trockene Säule, welche aus 800 bis 1000 Plattenpaaren von unächtem Silber- und Goldpapier besteht, ist mit gefirnißten Seidenfäden zusammengeschnürt und in einer Glasröhre eingeschlossen, deren Enden mit metallenen Kappen versehen sind. An den letzteren, welche mit den Polen in leitender Verbindung stehen, sind Metalldrähte befestigt, welche in Charnieren beweglich sind und an ihren Enden, gleichfalls in Charnieren bewegliche, Metallplatten tragen. Diese Säule wird nun in horizontaler Lage in einen Kasten gebracht, so daß die erwähnten Polplatten etwas aus ihm hervorragen. Zwischen ihnen hängt das Goldblättchen an einem isolirten Metallstäbchen in einer etwa 4 bis 5 Zoll hohen Glas-



*) Poggend. Ann. Bd. XLI. S. 230.

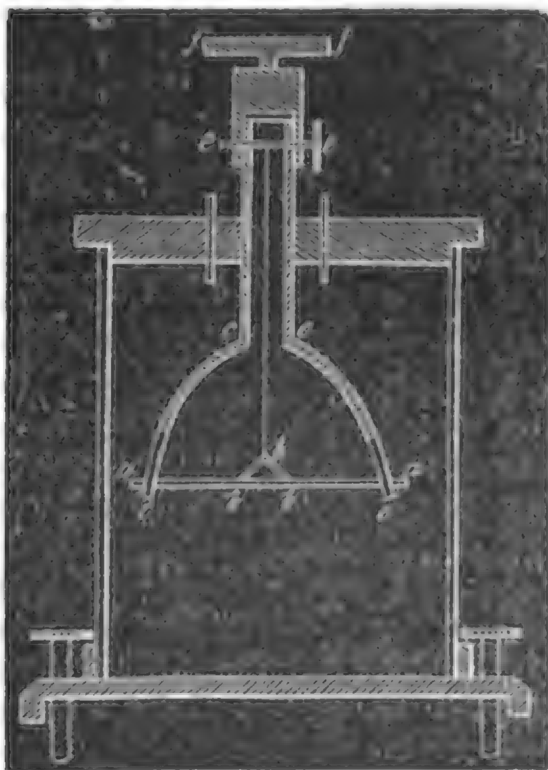
glocke herab. Der dem Blättchen mitgetheilte elektrische Zustand ergiebt sich dann wie bei den oben erwähnten Einrichtungen dieses Instrumentes ohne Weiteres aus der Richtung, welche dasselbe einschlägt. Um sich in dieser Hinsicht sogleich orientiren zu können, ist auch hier auf der Oberfläche des Kastens an der Seite der positiven Polplatte das Zeichen + und auf der Seite der negativen das Zeichen — angebracht. Uebrigens ist dieses Instrument, dessen Empfindlichkeit sehr beträchtlich ist, mit Vorsicht zu gebrauchen, da das Goldblättchen mitunter ohne merklichen äußeren Einfluß zu einer Oscillation zwischen den beiden Polplatten veranlaßt wird.

I.



Ein von Oersted construirtes Elektrometer besteht aus einem Glascylinder, der auf einem Fußbrette mit Stellschrauben ruht. Durch eine Glasröhre, welche in den Deckel des Cylinders befestigt ist, geht eine andere Röhre, die mit dem Bügel e e e e in leitender Verbindung steht. An dem Stifte e e ist ein Coconfaden aufgewickelt, welcher einen feinen und sehr schwach magnetisirten Stahlbügel b b b mit dem dünnen Messingdrahte a a trägt. Giebt man nun der Platte f f die geringste Menge Elektricität, so theilt sich diese dem Bügel e e e e und dem Messingdrahte a a mit, so daß dann der letztere mit einer Kraft abgestoßen wird, welcher nur die magnetische Richtkraft des kleinen Stahlbügels entgegen wirkt. Theilt man aber dem Bügel e e e e im Voraus eine geringe Elektricitätsmenge mit, so braucht man den zu untersuchenden Körper blos der Platte f f zu nähern, wo dann die Abstoßung des Drahtes a a durch die gleichnamige Elektricität vergrößert, durch die ungleichartige hingegen vermindert wird.

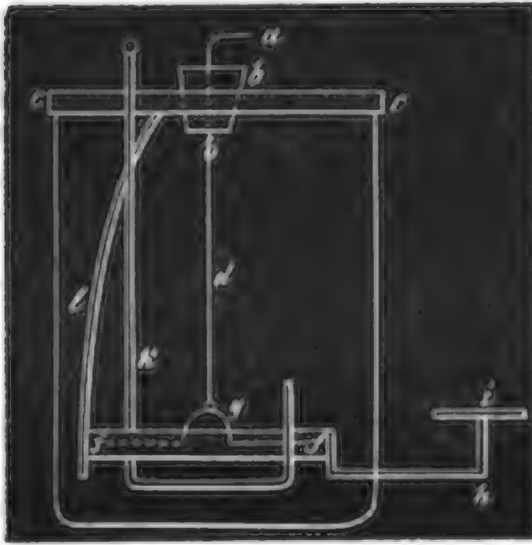
II.



Dellmann*) hat ein Elektrometer construirt, das sich sowohl durch seine Empfindlichkeit als auch durch die Sicherheit seiner Angaben sehr empfiehlt. Ein Glasgefäß von etwa 6 bis 8 Zoll Höhe und 4 Zoll Weite ist oben mit einem hölzernen zum Abnehmen eingerichteten Deckel c c versehen, durch dessen Mitte ein hölzerner, um seine Axe drehbarer Stöpsel b geht. (Siehe umstehende Figur). An dem Drahte a ist ein Coconfaden d befestigt, der den messingenen

*) Ueber ein neues Elektrometer u. s. w. Koblenz 1842. — Poggend. Ann. Bd. LVIII. S. 49.

2 (bis 3) Zoll langen Wagebalken g trägt. Der letztere ist in der Mitte bis zu etwa 2 Linien Höhe aufgebogen und hier durch ein Stückchen Kork gesteckt, woran der Coconfaden mit Schellack festgeklebt wird. Die Arme des Wagebalkens sind, zur Verminderung seiner Schwere, breit geschlagen, wodurch auch der Widerstand der Luft verringert wird, indem sie mit ihrer breiten Seite in einer horizontalen Ebene schweben. Etwa 2 Zoll über dem Boden ist ein Loch von ungefähr 2 Linien Durchmesser gebohrt, in das man den rechtwinklig gebogenen Kupferdraht h einkittet. Der äußere, vertical aufwärts gerichtete Arm, der wenigstens 2 Zoll vom Glase absteht, hat aber ein Schraubengewinde, um die Condensatorplatte i aufschrauben zu können. Der andere, horizontale Theil dieses Drahtes geht ungefähr 0,5 Zoll in das Gefäß hinein und steht hier mit seinem verticalen Ende mit einem Metallstreifen ff in Verbindung. Das andere Ende des letzteren ist an einem vom Deckel herabgehenden Draht e befestigt, so daß dieser etwa 1 Linie breite und mit seiner Ebene vertical stehende Streifen horizontal ausgespannt ist. Man schneidet denselben am bequemsten aus Papier, das auf beiden Seiten metallisch belegt ist. Nicht weit vom Rande des hölzernen Deckels ist in einem Loche eine Glasröhre eingekittet, durch welche ein ungefähr 0,5 Linien dicker Kupferdraht k geht, dessen unteres umgebogenes Ende in einem beliebigen Winkel sowohl mit dem Wagebalken g als auch mit dem Streifen ff eingestellt werden kann. Zur gehörigen Regulirung der Torsion des Coconfadens kann der Draht a, an dem dieser Faden hängt, durch den Stöpsel in die Höhe gezogen werden, so daß der Wagebalken über dem Streifen ff schwebend sich auslaufen kann. Sobald die Torsion verschwunden ist, senkt man den Wagebalken wieder. Man giebt nun dem Wagebalken beim Gebrauche eine solche Stellung, daß seine Arme mit dem Streifen ff, auf dessen anderer, hier nicht sichtbaren Seite sich der punktirte Arm befindet, einen kleinen Winkel machen. Die geringste Menge von Elektricität, welche der Streifen ff durch den Draht h empfängt, bewirkt dann eine Bewegung des Wagebalkens, so daß dieser, nach Berührung des Streifens, eine Abstoßung erleidet. Theilt man aber vorher dem Drahte k etwas Elektricität (von sehr mäßiger Stärke) mit, was durch ein isolirtes Scheibchen Kork von $^{1}/_{2}$ Zoll Durchmesser geschehen kann, so wird die Beweglichkeit des Wagebalkens, also auch die Empfindlichkeit des Instrumentes erhöhet, indem nun die Arme des Wagebalkens ähnlich wie das Goldblättchen in dem oben beschriebenen Fechner'schen Säulenelektroskope zwischen zwei in entgegengesetzter Richtung auf dieselben wirkenden Kräften schweben. Das Instrument ist übrigens um so empfindlicher, je kleiner der Winkel ist, den der Streifen ff und der Querdraht k mit einander bilden. Doch darf dieser Winkel nicht zu klein sein, theils um das völlige Herumschlagen des Wagebalkens zu verhüten, theils auch, um den Wagebalken einen hinreichend großen Winkel mit dem Streifen machen zu lassen. Mit diesem so eben beschriebenen Elektrometer hat



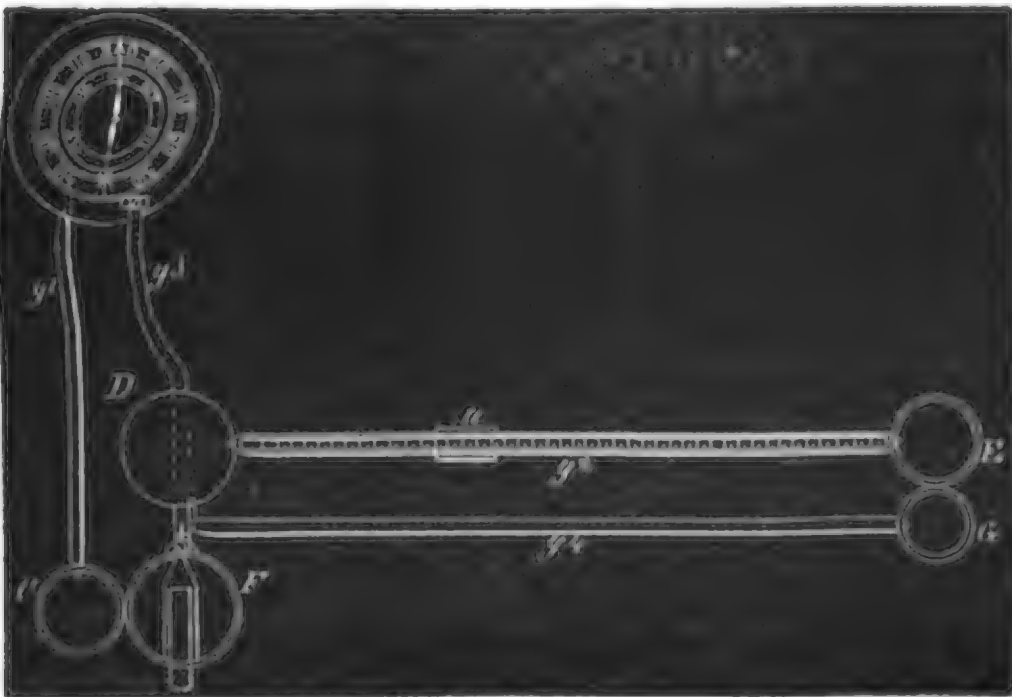
Kohlrausch einen sehr zweckmäßigen Condensator verbunden, worüber man den Artikel Condensator Bd. I. S. 1001 ff. nachsehen kann.

Die feinsten elektrometrischen Versuche sind von Coulomb mittelst einer besonderen Zurichtung seiner Drehwage angestellt worden. Ehe wir aber dieses Instrument und die damit angestellten Versuche näher beschreiben, wollen wir noch die Beschreibung der wichtigsten Ladungselektrometer geben.

Das Lane'sche Ausladungselektrometer, welches dazu dient, die Stärke des elektrischen Schlages einer Leidner Flasche zu messen, so wie Entladungen von einer bestimmten Stärke hervorzubringen, ist unterm Art. Auslader Bd. I. S. 642. beschrieben.

Namentlich um die Stärke der Ladungen einer Leidner Flasche oder Batterie zu bestimmen, bedient man sich des von Brook *) erfundenen nach Adams **) aber benannten Ladungselektrometers, das die Stärke der abstoßenden Kraft auf einem Zifferblatte sowohl in Graden als auch in Gewichten angiebt.

Der bewegliche Arm g^1, welcher nebst der Kugel C aus hohlem Messingblech besteht, ist oben in den unteren Theil der Axe eines Zahnrades eingeschraubt, das in ein Getriebe eingreift, an welchem sich der Zeiger des Zifferblattes befindet. Das letztere ist in 90 Grade eingetheilt, und wenn die Kugel C sich durch einen Bogen von so viel Graden bewegt, dreht sich der Zeiger einmal völlig um seine



Axe. Die neben C hängende feste Kugel F ist an ihrem unteren Theile gewöhnlich mit einem kurzem messingenen Stiele versehen, um das Elektrometer auf den Knopf einer Flasche aufstecken zu können. Die durch die elektrische Repulsion bewirkte Divergenz dieser beiden Kugeln wird dann durch die Stellung des Zeigers auf dem Zifferblatt bestimmt.

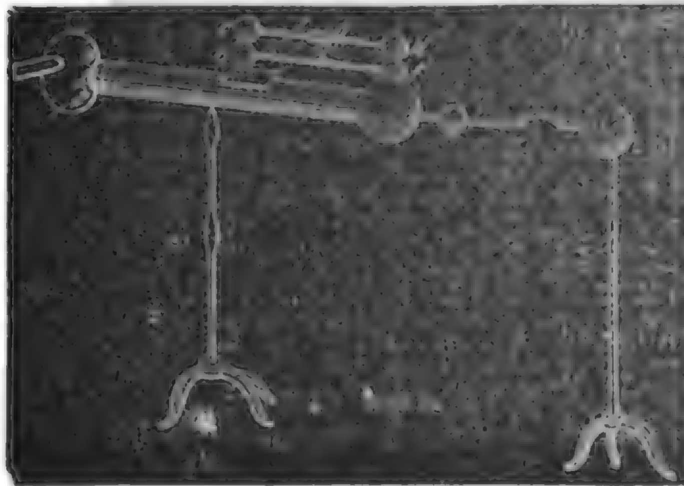
---

*) Vermischte Erfahrungen über die Elektricität rc., deutsch von Kühn. Leipzig 1790.
**) Essay on electricity. p. 121.

Der Arm g^2, welcher an seinem Ende die Messingkugel E trägt und mit einem breiten, verschiebbaren Ringe versehen ist, stellt im Wesentlichen eine Schnellwage vor, deren kürzerer Arm sich nebst einem Bleigewicht im Innern der hohlen Kugel D befindet. Dieses Bleigewicht hält dem längeren Arme mit der Kugel E das Gleichgewicht, wenn der Schieber a eine bestimmte Stellung am Arme g^2 hat, so daß dann der letztere in horizontaler Lage schwebt und die Kugel G zwar berührt, aber ohne dieselbe zu drücken. Den Stand des Schiebers bezeichnet man nun in dieser Lage mit 0. Hierauf schraubt man die Kugel G mit ihrem Arme g^1 ab, bringt unter die Kugel E eine Wagschale, und bestimmt dann jedesmal durch einen Versuch den Punkt, bis zu dem man den Schieber rücken muß, um das Gleichgewicht oder die horizontale Lage des Armes g^2 wieder herzustellen, wenn die Wage mit 1, 2, 3, 4 ꝛc. Granen belastet ist. Die feste Kugel G ist mit der Kugel F leitend verbunden, und wenn diese mit dem Knopfe einer geladenen Flasche in leitender Verbindung steht, so erfolgt zwischen den Kugeln G und E eine Abstoßung, vermöge deren der Arm g^2 gehoben wird. Der Theilstrich nun, bei dem der Schieber a eingestellt werden muß, damit der Arm g^2 wieder die horizontale Lage gewinne, zeigt das Gewicht an, welcher als Maß der abstoßenden Kraft betrachtet werden kann. Die Zahlen aber, welche die den abstoßenden Kräften entsprechenden Gewichte angeben, lassen sich ebenfalls auf das Zifferblatt auftragen, indem man jede Gewichtszahl, die als Maß der abstoßenden Kraft gilt, auf dem inneren Kreise dahin setzt, wo der kürzere Arm des Zeigers, der sich auf gleiche Weise mit dem längeren umdreht, jedesmal steht. Ist die Eintheilung des Kreises auf diese Weise einmal nach Granen regulirt, so kann man die Schnellwage mit dem Arme g^1 ganz hinwegnehmen, und sich blos des anderen Haupttheiles bedienen.

Deimann und Paets van Troostwyk haben sich blos der Schnellwage bedient, um die abstoßende und anziehende Kraft des ersten Leiters einer Elektrisirmaschine zu messen und folgende Beschreibung *) ihres Apparates gegeben.

Die Schnellwage c g d, welche hier ein Ganzes für sich ausmacht, ruht nämlich noch auf dem Theile e h f, der ebenfalls aus zwei hohlen Kugeln und einem hohlen Cylinder von Messing, von eben der Größe als bei der Wage besteht, (die Kugeln hatten 4 Zoll, der hohle Cylinder eine Länge von 10 Zoll und einem Durchmesser von 0,75 Zoll).

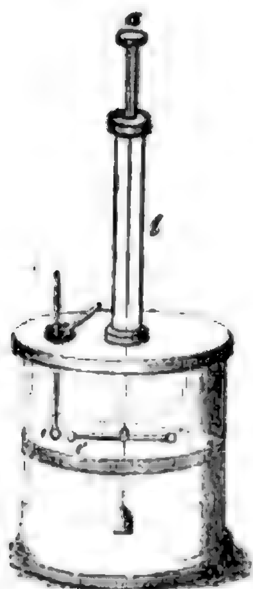


Die eine von diesen Kugeln, nämlich e ist oben und unten mit einem Messingdrahte versehen, in welchem Schraubengänge geschnitten sind; in den obersten ist die Kugel c der Wage geschraubt, der untere dient dazu, um das Elektrometer auf dem Conductor oder auf einem hölzernen Gestelle zu befestigen. Uebrigens ist c g d so mit e f h verbunden, daß

*) Beschreibung einer Elektrisirmaschine ꝛc., herausg. von J. Cuthbertson. Leipzig 1790.

beide Cylinder g und h sich in einer Verticalebene befinden, und die Kugel d, wenn sie durch Verschiebung des Ringes schwerer geworden ist, auf der Kugel f aufliegt. Um das Elektrometer auf den Conductor zu setzen, bedienten sie sich eines messingenen Plättchens, das so gebogen ist, daß es an den Conductor anschließt; auf dieses ist die Kugel e des Elektrometers geschraubt. In dieser Lage dient dasselbe zur Bestimmung der abstoßenden Kraft. Wenn die Anziehung untersucht werden soll, so wird das Elektrometer auf seinen hölzernen Fuß gesetzt, und man stellt es mit der Kugel d in einer gewissen Entfernung gerade unter eine Kugel von eben der Größe, die, damit man die anziehende und abstoßende Kraft mit Kugeln von gleicher Größe untersuchen kann, absichtlich unten an die Kugel am Ende des Leiters gesteckt wird. In beiden Fällen untersucht man erst, wie weit der Ring oder das Gewicht i von e nach d verschoben werden kann, ohne daß die Kugel d zu schwer wird, um von der Kraft, die der Conductor bei dem Umdrehen der Elektrisirmaschine erhält, noch aufgehoben zu werden; die Zahl, bei welcher der vordere Rand des Ringes steht, zeigt dann in Granen die abstoßende oder anziehende Kraft des Conductors an.

Die genauesten elektrometrischen Versuche sind angestellt worden, um die Gesetze zu entdecken, nach denen sich die elektrische Anziehung und Abstoßung richtet. Coulomb hat sich hierbei seiner Drehwage bedient, welche im Allgemeinen unterm Art. Drehwage beschrieben ist. Um dieselbe zur Messung der elektrischen Anziehung und Abstoßung anzuwenden, wird die Nadel aus Gummilack verfertigt. Solche Nadeln erhält man leicht, wenn man das Gummilack an der Flamme einer Kerze erweicht und nach Art des Glases in Fäden von der erforderlichen Länge und Dicke auszieht. An das eine Ende der Nadel wird ein Hollundermarkkügelchen e befestigt. Die Nadel wird in ihrer Mitte an einem dünnen Metallfaden aufgehängt, welcher sich mittelst des oben bei a angebrachten drehbaren Knopfes sammt der Nadel in verticaler Richtung drehen läßt. Der Knopf ist mit einem Zeiger versehen, der auf einer auf dem Deckel angebrachten Gradeintheilung angiebt, um wie viele Grade die Drehung geschehen ist. Eine andere Gradeintheilung ist am unteren Theile des Instrumentes so angebracht, daß die Nadel an ihr die Winkel angiebt, um welche sie bei einer auf sie wirkenden Abstoßung oder Anziehung um ihren Aufhängungspunkt (welcher der Mittelpunkt des in Grade getheilten Kreises ist) gedreht wird. Diese Eintheilung wird auf einem Papierstreifen verzeichnet, den man horizontal rings um den Glasbehälter klebt. Wenn der untere Theil des Instrumentes wie hier ein Glascylinder ist, so muß jeder Grad der Eintheilung $\frac{1}{360}$ des Kreisumfanges dieses Cylinders sein. Wird aber das Instrument in größeren Dimensionen verfertigt, so findet man nicht leicht einen hinlänglich weiten regelmäßigen Glascylinder. Man setzt dann den unteren Theil des Instrumentes aus 4 Spiegelplatten von gleicher Größe zusammen, so daß jeder horizontale Durchschnitt des unteren Gehäuses ein Quadrat ist. Denkt man sich nun einen solchen Durchschnitt in der Höhe der Nadel gelegt



oder bezeichnet man denselben durch einen Papierstreifen, auf dem die erforderliche Eintheilung gemacht werden soll, so ist zu bemerken, daß jede Seite des hier entstandenen Quadrates eine Tangente ist eines Kreises, den man sich im Innern des Gefäßes um den Drehungspunkt der Nadel als Mittelpunkt mit dem kürzesten Abstande dieses Punktes von jeder Seite des Quadrates als Radius beschrieben denken kann. Dieser Kreis ist der in das (bekannte) Quadrat beschriebene Kreis. Zeichnet man sich einen solchen Kreis auf ein besonderes Blatt und beschreibt um ihn das Quadrat, theilt hierauf den Kreis in seine 360 Grade, zieht nach jedem Theilpunkte einen Radius und verlängert denselben bis er die nächste Seite des Quadrates schneidet, so wird hierdurch der Umfang des Quadrates so eingetheilt, daß seine Theilpunkte den Theilpunkten des Kreises entsprechen. Diese Eintheilung wird auf den in der Höhe der Nadel um das prismatische Glasgehäuse gelegten Papierstreifen aufgetragen, und setzt man nun in den Punkt, welcher in jeder Seite des Quadrates dem Drehungspunkte der Nadel am nächsten liegt, (oder, was dasselbe, wo die Richtung der Nadel auf jeder Fläche senkrecht ist) den Null-Punkt der Eintheilung, von welchem ab die Theile gezählt werden, so geben die Theilpunkte in ihrem Abstande von dem Null-Punkte die Tangenten der Winkel an, welche so viele Grade haben als die zu den Theilpunkten geschriebenen Zahlen angeben. Nachdem man hierauf den Zeiger, welcher sich über der oberen Kreiseintheilung bewegt, auf den Null-Punkt dieser Eintheilung gestellt hat, wird der ganze Cylinder, welcher ihn trägt, gedreht, bis die kleine Kugel e auch vor dem Null-Punkte der unteren Eintheilung steht. Die Erfüllung dieser Bedingung erkennt man daran, daß wenn man von der entgegengesetzten Seite des Glasbehälters in der Verticalebene hin sieht, in welcher der Draht und die Nadel liegen, man letztere gegen den Null-Punkt gerichtet erblickt. Eine zweite Kugel i wird an das Ende eines ganz dünnen Cylinders von Gummilack befestigt, welcher so lang ist, daß wenn er vertical in das untere Glasgehäuse gebracht wird, seine Kugel mit der Kugel der Nadel in gleicher Höhe steht. Dieser Cylinder erhält eine solche Stellung, daß die Kugel i ebenfalls bei dem Null-Punkte der unteren Eintheilung zu stehen kommt. Die zweite Kugel drängt bei dieser ihrer Einstellung die erste Kugel e ein wenig aus ihrer Stellung vor dem Nullpunkte, so daß, wenn der Mittelpunkt von i genau auf den Nullpunkt fällt, der Mittelpunkt von e von dem Nullpunkte um die Summe der Radien beider kleinen Kugeln entfernt ist. Durch die geringe Drehung, welche bei der Verdrängung der Kugel e durch die Kugel i erfolgt, wird e in Berührung mit i erhalten.

Wenn man nun diese Kugeln oder nur eine derselben mit einem elektrischen und isolirten Körper einen Augenblick in Berührung bringt, so werden beide durch Mittheilung gleichartig elektrisch, stoßen sich folglich ab. Da nun blos die Kugel e beweglich ist, so wird sich die Nadel, an der sie befestigt ist, um einen gewissen Winkel drehen und nach einigen Oscillationen bei einem gewissen Punkte des Gleichgewichts stehen bleiben, den die Eintheilung an der Seitenwand genauer bezeichnen läßt. Dann wird der Grad der im Draht vorhandenen Drehungskraft (d. h. der Grad der Kraft, mit welcher sich der Draht vermöge seiner Elasticität zurückzudrehen strebt) der Abstoßung der beiden Kugeln das Gleichgewicht halten, folglich zum Maße derselben dienen können.

Da schon durch sehr geringe Kraft ein Metalldraht um einen großen Winkel gedreht wird, so darf man den Kugeln nur sehr schwache Grade von Elektricität

ertheilen. Man berührt sie deshalb nur mit einem dicken Stecknadelkopfe, dessen Stiel in einer Siegellackstange steckt. Dieser Nadelkopf wird vorher durch Mittheilung elektrisch gemacht, indem man ihn einen Augenblick mit dem ersten Leiter einer Elektrisirmaschine oder mit einer geriebenen Glas- oder Harzstange in Berührung bringt. In den Glaskasten wird er durch eine kleine zu diesem Zwecke an gehöriger Stelle angebrachte kleine Oeffnung eingebracht, indem man ihn an der isolirenden Siegellackstange hält und nach Erfolg der Berührung mit der unbeweglichen Kugel sogleich wieder zurückzieht.

In dieser Art stellte Coulomb seine Versuche an und er fand bei einem derselben, daß die Nadel nach geschehener Berührung einen Winkel von 36° beschrieben hatte. Darauf drehte er den Draht nach der dieser Abstoßung entgegengesetzten Richtung, so daß die Nadel der unbeweglichen Kugel bis auf 18° genähert war, zu welchem Ende der Zeiger der oberen Eintheilung um 126° gedreht werden mußte. Endlich näherte er die Nadel durch Drehung des Drahtes bis auf einen Abstand von 8°, 5, wobei der obere Zeiger vom Null-Punkte der Eintheilung an im Ganzen 567° beschrieben hatte. Während Coulomb diese Versuche anstellte, verloren die Kugeln nicht merklich an Elektricität; denn vorher hatte sich derselbe überzeugt, daß an diesem Tage (vermöge der Trockenheit der Luft und der guten Isolirung durch die Träger) die elektrisirten Kugeln, wenn sie sich um 30° abgestoßen hatten, in 3 Minuten nur um Einen Grad sich näherten. Da Coulomb zu Anstellung der drei angegebenen Versuche nur zwei Minuten brauchte, so sieht man, daß die Verminderung, welche die Elektricität der Kugeln durch die (niemals absolut isolirende) Luft und die Träger erleidet, als unbedeutend außer Acht gelassen werden konnte.

Wenn i e d i den Umkreis vorstellt, den die bewegliche Kugel e beschreibt, und c den Mittelpunkt desselben, ferner i e ein Bogen von 36° ist, wie er sich nach der ersten Abstoßung fand, so folgt daraus, daß der Abstoßungskraft der beiden Kugeln durch eine Drehung um 36° nach der Richtung i e das Gleichgewicht gehalten wurde; denn zu Folge der zu Anfang des Versuchs getroffenen Anordnungen ist die Drehung null, wenn die Nadel sich beim Punkt i befindet. — Beim zweiten Versuche dreht man den Draht um 126° nach der Richtung e i; wäre die Nadel frei, so würde sie dadurch nach d′ 126° über den Punkt i hinausgeführt werden; statt dessen aber hält die abstoßende Kraft e 18° diesseits dieses Punktes zurück. Bei diesem Abstand hielt mithin die abstoßende Kraft der beiden Kugeln einer Drehung von 126° + 18° = 144° das Gleichgewicht. — Bei dem dritten Versuch endlich betrug die vom Zeiger angezeigte Drehung 567° immer nach der Richtung e i; allein anstatt um 567° über den Punkt i hinauszugehen, blieb die Nadel bei 8°,5 diesseits dieses Punktes stehen; mithin hielt die Abstoßungskraft, durch die sie in dieser Entfernung festgehalten wurde, einer Drehung um 567° + 8°,5 = 575°,5 das Gleichgewicht. — Hieraus ergiebt sich folgende Tabelle zur Vergleichung der Drehungen und der Abstände.



Bogen, um welche beide Kugeln entfernt waren	Maß der Abstoßungskraft durch die Drehung
36°	36°
18°	144°
8°,5	575°,5

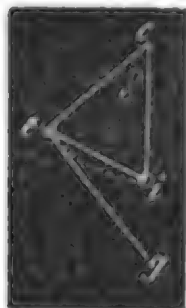
Vergleicht man die Zahlen, welche in beiden Columnen unter einander stehen, so bemerkt man, daß die Bogen des Abstandes fast genau zu einander wie 4 : 2 : 1 sich verhalten, während die entsprechenden Drehungen, welche das Maß für die Wirkungen der abstoßenden Kräfte auf die Nadel abgeben, unter einander in dem Verhältnisse 1 : 4 : 16 stehen, den Quadraten der ersten umgekehrt proportional sind. Hieraus ergiebt sich das Gesetz: daß die elektrischen Kräfte im umgekehrten Verhältnisse mit dem Quadrat der Entfernungen stehen. Biot *), nach dessen Vorgange diese Darstellung der Coulomb'schen Beobachtungen gegeben ist, bemerkt noch hierzu: Eigentlich zwar wird der geradlinige Abstand beider Kugeln nicht durch den Bogen, den die eine beschreibt, sondern durch die Sehne dieses Bogens gemessen; und die abstoßende Kraft, die sie auf einander äußern, wirkt überdies schief auf die Nadel und trägt daher nicht mit ihrer ganzen Stärke zu ihrer Drehung bei. Indeß beträgt diese Schiefe bei unseren Versuchen wegen der geringen Größe der Bogen nur ganz wenig; und aus der nämlichen Ursache ist auch der Unterschied zwischen ihnen und ihren Sehnen nur ganz gering. Diese Umstände rechtfertigen sonach die Folgerungen, die wir aus unseren Beobachtungen gezogen haben. Vollends außer Zweifel lassen sie sich indeß setzen, wenn man eine strenge Berechnung zu Hülfe nimmt. Denn aus dieser ergiebt sich, daß, wenn die Abstoßungsbogen nicht größer als 30° sind, die aus den Bogen, so wie die aus den Abständen hergeleiteten Verhältnisse von denen, die die Beobachtung finden läßt, sich um keine merkliche Größe unterscheiden. Ueberschreiten wir also diese Grenze nicht, so können wir das Gesetz des Quadrats der Abstände auf die Bogen selbst beziehen, welches die Berechnungen um vieles vereinfacht.

Durch Drehung des Knopfes a sei der horizontalen Nadel aus Gummilack eine solche Lage gegeben, daß sie im Zustande des Gleichgewichts verharret, falls die Kugel e auf den Null-Punkt der Theilung hinweist. Theilt man nun der Kugel i Elektricität mit, so wird die Kugel e, die anfänglich mit i in Berührung ist, gleichnamig elektrisirt, und es erfolgt deshalb eine Ablenkung der Nadel, deren Größe ein Maß für die Dreh- oder Torsionskraft des Fadens ist, die mit der elektrischen Abstoßungskraft beider Kugeln im Gleichgewicht steht. Der Faden nämlich erleidet, sobald der Hebel aus der Gleichgewichtslage entfernt wird, eine Windung (Torsion) und der Widerstand, den die Elasticität des Fadens hierbei entgegensetzt, ist eben dem Ablenkungswinkel der Nadel proportional. Nimmt man nun die Kraft, welche die Nadel um 1° abzulenken vermag, als Einheit an, so wird die Torsionskraft des Fadens und somit auch die Abstoßungskraft der

*) Traité de phys. T. II. p. 224 sqq.

Kugeln e und i für eine Ablenkung von δ^0 durch δ gemessen. Die Entfernung der Kugeln e und i aber, in welcher die Torsionskraft des Fadens der elektrischen Repulsivkraft das Gleichgewicht hält, ist die zu δ gehörige Sehne eines Kreises, dessen Radius ce = l ist. Dieselbe ist hiernach $= 2\,l \sin {}^1/_2\,\delta$.

Dreht man nun den Knopf a, nachdem die Ablenkung δ gemessen, von Neuem um den Winkel α, so daß dadurch die Ablenkung der Kugel e kleiner und $= \delta'$ wird, so ist die letztere überhaupt um den Winkel $\delta' + \alpha$ von der natürlichen Gleichgewichtslage entfernt, und die Torsionskraft des Fadens ist nunmehr $= \delta' + \alpha$. Nun wirkt diese Kraft jedesmal senkrecht gegen den Arm ce in der Richtung eg, die elektrische Abstoßung aber nach den zu den Bögen δ und δ' gehörigen Sehnen, deren Richtungen mit der Richtung der Torsionskraft eg die Winkel $^1/_2\,\delta$ und $^1/_2\,\delta'$ (ieg = $^1/_2$ eci) einschließen. Die nach der Richtung eg zerlegten elektrischen Repulsionen sind es, welche der Torsionskraft des Fadens das Gleichgewicht halten, und die in unseren beiden Fällen in den Formeln $\frac{\delta}{\cos {}^1/_2\,\delta}$ und $\frac{\delta' + \alpha}{\cos {}^1/_2\,\delta'}$ ihren Ausdruck finden. Vergleicht man diese Werthe mit den zugehörigen Entfernungen $2\,l \sin {}^1/_2\,\delta$ und $2\,l \sin {}^1/_2\,\delta'$, so folgt das Gesetz, daß die elektrischen Abstoßungen im umgekehrten Verhältniß mit den Quadraten der entsprechenden Entfernungen stehen. Unter Voraussetzung dieses Gesetzes muß nämlich das Product aus der elektrischen Repulsivkraft in das Quadrat der zugehörigen Entfernung, also $\frac{4\,l^2 \sin^2 {}^1/_2\,\delta'\,(\alpha + \delta')}{\cos {}^1/_2\,\delta'}$, also $(\alpha + \delta') \operatorname{tang} . {}^1/_2\,\delta' \sin {}^1/_2\,\delta'$ für jede Veränderung von α einen constanten Werth behaupten, was eben durch die Coulomb'schen Versuche bestätigt wird *).

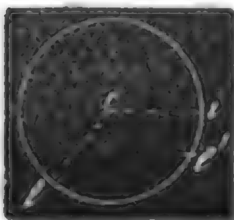


Das Instrument, dessen sich Coulomb bei seinen Versuchen bediente, bestand aus einem feinen Wagebalken, der an einem sehr dünnen Silberfaden von 28 Zoll Länge hing und so zart war, daß ein Fuß davon nur $^1/_{16}$ Gran wog. Der Halbmesser des Kreises, welchen der Hebelarm beschrieb, betrug 4 Zoll und hiernach war nur eine auf das Ende des Wagebalkens perpendiculair wirkende Kraft von $\frac{1}{340}$ Gran nöthig, um denselben durch einen ganzen Kreis herum zu drehen. Die Drehung von einem Grade erforderte nur ein Gewicht von $\frac{1}{340 \times 360} = \frac{1}{122400}$ Gran. Dieser Draht zerriß jedoch durch die geringste Erschütterung, weshalb Coulomb öfter eines Drahtes von doppelt so großem Durchmesser und sechzehnmal so großer Elasticität sich bediente.

Auch über die Gesetze der elektrischen Anziehung hat Coulomb ähnliche Versuche angestellt, wie über die der Abstoßung. Die Kugeln

*) Beiläufig sei hier bemerkt, daß im Artikel Elektricität, wo vom Coulomb'schen Gesetze die Rede ist, statt des Verhältnisses 1 : 2 : 3 (Seite 735, Zeile 13 von oben) das Verhältniß $1 : {}^1/_4 : {}^1/_9$ gesetzt werden muß, was dort aus dem Zusammenhange sogleich erhellen wird.

dürfen sich dann in ihrer ursprünglichen Lage, ehe sie elektrisch geworden sind, nicht mehr berühren, sie müssen vielmehr von einander entfernt sein und in der Drehungskraft ein Hinderniß finden, sich zu vereinigen. Deßwegen nimmt man erst die befestigte Kugel i weg und ertheilt der beweglichen eine Elektricität von bestimmter z. B. negativer Beschaffenheit, darauf dreht man den Zeiger um einen bestimmten Winkel c; der Faden, durch keine Kraft gehindert, folgt dieser Bewegung, so daß nach einigen Oscillationen das Ende der Nadel vor einem anderen Punkte e der Eintheilung stehen bleibt, der um mehrere Grade von dem entfernt ist, bei dem es zuerst stand. Durch dies Verfahren wird sonach der Null-Punkt der Drehung um eine bekannte Größe nach der Richtung ie verrückt worden sein. Jetzt bringt man die befestigte Kugel i wieder an ihren Ort und ertheilt ihr die der vorigen entgegengesetzte Elektricität; in gegenwärtigem Beispiebe also positive. Da beide Kugeln sich anziehen, so bewegt sich die Nadel nach der festgemachten Kugel i hin und bleibt im Fall, daß Gleichgewicht möglich ist, irgendwo bei einem gewissen Punkte e′ stehen. Man bemerkt diesen Punkt an der Eintheilung, dreht darauf den Zeiger um bekannte Größen vor- oder rückwärts, um die Drehung zu verändern, und beobachtet wiederum die Lage, in welcher die Nadel in jedem dieser Fälle stehen bleibt. Aus einer ähnlichen Vergleichung der Drehungen und der Abstände, wie bei Aufsuchung des Gesetzes für die Abstoßungen, erhält man ein jenem entsprechendes Gesetz: daß die Anziehungskräfte, welche durch ungleichartige Elektricitäten hervorgebracht werden, eben wie die Abstoßungskräfte dem Quadrate des Abstandes umgekehrt proportional sind.



Coulomb hat die Richtigkeit dieses Gesetzes auch noch auf eine andere Weise herausgestellt. Die Schellacknadel, an deren einem Ende ein Scheibchen von Blattgold befestigt war, wurde an einem ungedrehten Seidenfaden in der Drehwage aufgehängt, und dann die Scheibe und die feste Kugel i mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen. Vermöge der Anziehung nun, welche zwischen beiden statt hatte, machte die Nadel um ihre Lage des Gleichgewichts Schwingungen, deren Dauer für verschiedene Entfernungen des Scheibchens von der Kugel mit Berücksichtigung des Elektricitätsverlustes während des Versuches bestimmt wurde. Da nun die Dauer einer Schwingung in demselben Verhältniß zunahm, wie die Entfernung des Scheibchens von der Kugel, so folgt, daß die elektrischen Anziehungen sich umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten. Ist nämlich a die Anziehungskraft in der Einheit der Entfernung, so hat man für die Dauer t einer Schwingung nach den Gesetzen des Pendels $t = \pi \sqrt{\frac{1}{a}}$. Bezeichnet aber A die Anziehungskraft in der Entfernung d, so hat man auch $A = \frac{a}{d^2}$, falls die Schwingungsdauer t der Entfernung d proportional ist. Dasselbe gilt für die Repulsion.

Das Coulomb'sche Gesetz erhielt eine Bestätigung durch die Untersuchungen Egens *), welcher alle darauf bezüglichen Versuche einer genauen kriti-

*) Poggend. Ann. Bd. V. S. 199. Vergl. auch Kämtz: dissertatio de legibus repulsionu melectricarum geometricis. Halae 1823.

schen Prüfung unterwarf. Derselbe gebrauchte zu seinen eigenen Versuchen die Simon'sche Wage, der er eine größere Empfindlichkeit ertheilte. Dieser Apparat besteht im Wesentlichen aus einem feinen horizontalen Faden aus Gummilack oder Glas, an dessen einem Ende eine Metallkugel befestigt ist, die von einer ähnlichen, nahe darüber befindlichen Kugel abgestoßen wird. Durch kleine Gewichte, die am anderen Ende des Wagebalkens angebracht werden können, ergiebt sich dann die Stärke der den verschiedenen Ablenkungen entsprechenden Abstoßung *).

Weiter benutzte Coulomb die Drehwage zur Bestätigung des Gesetzes, daß die elektrischen Anziehungen und Abstoßungen den Elektricitätsmengen proportional sind. Man lade die Kugeln i und e mit derselben Elektricität und gebe ihnen dann durch Drehung des Knopfes a eine bestimmte Entfernung von einander. Berührt man jetzt die Kugel i mit einer anderen, gleich großen isolirten Metallkugel, so verliert sie die Hälfte ihrer freien Elektricität, und man muß die ganze Drehung des Drahtes um die Hälfte vermindern, wenn die Entfernung beider Kugeln dieselbe bleiben soll. Entzieht man nun auch der Kugel e die Hälfte ihrer Elektricität, so muß man die ganze Drehung des Drahtes abermals auf die Hälfte oder auf den vierten Theil der anfänglichen Größe bringen, wenn beide Kugeln in derselben Entfernung verharren sollen, woraus das obige Gesetz zur Genüge erhellet.

Die Drehwage kann auch gebraucht werden, um die Gesetze des Elektricitätsverlustes durch die isolirenden Träger der elektrisirten Körper und durch die Berührung mit der Luft zu ermitteln. Der Verlust durch die Träger kann ziemlich vollständig beseitigt werden, wenn man ihnen eine hinreichende Länge giebt, welche sich nach Coulomb wie das Quadrat der zu isolirenden elektrischen Ladung verhält. Der Elektricitätsverlust in ruhiger Luft ist bei constanter Temperatur und unverändertem Feuchtigkeitszustande in einer sehr kurzen Zeit der elektrischen Ladung proportional. Der größte Theil des Verlustes, welchen ein isolirter Leiter in der

---

*) Das Coulomb'sche Gesetz läßt sich auch entwickeln mit Hülfe einer gewöhnlichen elektroskopischen Vorrichtung, die im Wesentlichen aus zwei an Fäden befestigten Metallkügelchen besteht, deren Mitten als die Mittelpunkte der elektrischen Wirksamkeit betrachtet werden können. Die eine dieser Kugeln ist fest, die andere b beweglich. Sei nun δ der Winkel, um welchen die Kugel b vermöge der elektrischen Repulsion von der anderen abgelenkt ist, und p das absolute Gewicht der beweglichen Kugel. Dann ist das nach der Tangente bt wirkende relative Gewicht $p \sin \delta$ die Kraft, mit welcher die Kugel b in die Gleichgewichtslage zurückstrebt. Nach dem Coulomb'schen Gesetze steht aber die abstoßende elektrische Kraft im umgekehrten Verhältnisse mit dem Quadrate des Abstandes $ab = 4 \sin^2 \frac{1}{2} \delta$, so daß der nach der Tangente bt zerlegte Theil der elektrischen Repulsion r, welcher der Kraft $p \sin \delta$ entgegenwirkt, seinen Ausdruck in der Formel $\frac{r \cos \frac{1}{2} \delta}{4 \sin^2 \frac{1}{2} \delta}$ findet. Für den Fall des Gleichgewichtes hat man dann $p \sin \delta = \frac{r \cos \frac{1}{2} \delta}{4 \sin^2 \frac{1}{2} \delta}$ und hieraus $r = \frac{4 p \sin^2 \frac{1}{2} \delta \sin \delta}{\cos \frac{1}{2} \delta} = 8 p \sin^3 \frac{1}{2} \delta$.

Versuche, welche Lord Mahon †) mit einer elektroskopischen Vorrichtung obiger Art anstellte, ergaben die Richtigkeit der letzten Formel und damit auch die des Coulomb'schen Gesetzes.

†) Principles of Electricity with analysis of the superior advantage of high and pointed conductores. Lond. 1779; deutsch von Seeger. Leipzig 1789.

Luft erleidet, kommt auf Rechnung der darin enthaltenen Feuchtigkeit, welche sich zum Theil auf der Oberfläche des Leiters condensirt. Doch geht auch in ganz trockner Luft einige Elektricität verloren. Bei einem Versuche, den Coulomb hierüber mittelst seiner Drehwage anstellte, war die abstoßende Kraft der beiden Kügelchen in ganz trockner Luft einer Windung des Drahtes von 270° proportional. Aber schon nach einer Minute mußte diese Windung um 6° vermindert werden, um den anfänglichen Abstoßungswinkel, welcher 20° betrug, wieder zu erhalten. Die Abstoßung der Kügelchen war nunmehr einer Windung von 264° proportional. Der während einer Minute erfolgte Verlust entsprach also einer Windung von 6°. Die mittlere elektrische Kraft oder die mittlere Elektricitätsmenge betrug während dieser Minute $\frac{270 + 264}{2} = 267°$, da die elektrische Kraft beim Beginn der Minute gleich einer Torsion von 270° und zu Ende derselben gleich einer Torsion von 264° war. Hiernach ist der einer Torsion von 6° entsprechende Verlust gleich $\frac{6}{267} = \frac{1}{44,5}$ der mittleren Elektricitätsmenge. Nach Coulomb's Versuchen beträgt der Verlust an trockenen Tagen während 1 Minute durchschnittlich $\frac{1}{60}$ bis $\frac{1}{70}$ der mittleren Spannung, an feuchten aber häufig $\frac{1}{20}$ derselben.

Endlich wurde die Drehwage von Coulomb noch benutzt, um die Vertheilung der Elektricität auf isolirten Leitern zu erforschen, wozu nöthig ist, daß man die Stärke der Elektricität an verschiedenen Punkten der Oberfläche ermittelt. Coulomb gebrauchte hierbei die schon erwähnte Probescheibe, also ein Scheibchen von Blattgold, das an einem Schellackstiele befestigt ist. Setzt man diese Scheibe irgendwo auf die Oberfläche eines elektrisirten Leiters, so nimmt es die Elektricität der berührten Stelle auf, und die Stärke derselben läßt sich dann in der Drehwage messen. Während aber diese Messungen an verschiedenen Punkten der Oberfläche vorgenommen worden, verliert der Leiter einen Theil seiner Elektricität durch die Berührung mit der Luft. Dieser Verlust konnte jedoch leicht in Rechnung gezogen werden, da derselbe, wie Coulomb zuvor gefunden, in ruhiger Luft und bei constantem Wärme- und Feuchtigkeitszustande in einer sehr kurzen Zeit der Dichtigkeit der Elektricität proportional ist. Man setzt nun die Probescheibe auf einen Punkt p des elektrisirten Körpers, bringt sie dann in die Drehwage und bestimmt die elektrische Kraft dieses Punktes. Nach einer sehr kurzen Zeit t bringt man die Scheibe mit einem anderen Punkte p′ der Oberfläche in Berührung, und darauf zur Bestimmung der entsprechenden elektrischen Kraft E (in diesem Punkte) in die Drehwage. Alsdann wird dieselbe nochmals, nach Verlauf derselben sehr kleinen Zeit t, mit dem ersten Punkte p in Berührung gebracht, wo sich dann in der Drehwage eine elektrische Kraft e′ ergeben wird, die kleiner als die zuerst bestimmte e ist. Es ist also auf dem Punkte p zur Zeit t die Elektricität e, zur Zeit 3t aber die Elektricität e′, so daß zur Zeit 2t derselbe Punkt die Elektricitätsstärke $\frac{1}{2}(e + e')$ besitzt, während die des anderen Punktes p′ zu eben der Zeit gleich E ist. Das Verhältniß der Elektricitätsmengen in den Punkten p′ und p ist demnach durch das Verhältniß von $E : \frac{1}{2}(e + e')$ ausgedrückt. Will man also die Elektricitätsstärken der Punkte p, p′, p″, p‴, ... eines elektrisirten Leiters mit einander vergleichen, so berühre man hinter einander in sehr

kurzen, aber gleichen Zeitintervallen die Punkte p, p', p, p'', p, p''', ... mit der Probescheibe und bringe dieselbe jedesmal in die Drehwage, um die zugehörigen elektrischen Kräfte e, E', e', E'', e'', E''', e''', ... zu messen. Zur Vergleichung der Elektricitätsstärken in den Punkten p u. p', in p u. p'', p u. p''' rc. hat man dann die Verhältnisse E' : $^1/_2$ (e + e'), E' : $^1/_2$ (e' + e''), E': $^1/_2$ (e'' + e''') rc.

Die Resultate dieser Versuche über die Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche verschieden gestalteter Leiter finden sich im Art. Elektricität.

Elektromikrometer, Mikroelektrometer, s. Elektrometer.

Elektromotoren, s. Galvanismus.

Elektrophor (v. d. griech. φέρω tragen), Elektricitätsträger, beständiger Elektricitätsträger ist ein zuerst von Volta im Jahre 1775 construirtes Instrument zu Erregung der Elektricität, welche es unter günstigen Umständen Monate und sogar Jahre lang bewahrt. Der letzte Umstand ist der Grund, aus dem es Volta einen beständigen Elektricitätsträger genannt hat.

Der Elektrophor besteht wesentlich aus drei Theilen, nämlich: aus dem Kuchen, der gewöhnlich eine Harzmasse ist, der Form oder dem Teller, welcher den Kuchen an den Seiten und unten umgiebt; und dem Deckel, Schild oder der Trommel, welche auf die Harzfläche gelegt wird. Kuchen und Teller sind gewöhnlich untrennbar mit einander verbunden und machen zusammen die Basis oder Unterscheibe des Elektrophors aus, im Gegensatz zu welcher der abhebbare Deckel die Oberscheibe heißt.

Die Form (der Teller) besteht aus einer hölzernen mit Zinnfolie und Silberpapier überzogenen oder metallenen runden Scheibe, welche ringsum einen senkrecht aufstehenden, nach Maßgabe der Dicke des Kuchens 2 bis 5 Linien hohen Rand hat. In diese Form wird der Kuchen gegossen. Zur Masse des Kuchens kann im Allgemeinen jeder idioelektrische Stoff dienen; doch nimmt man gewöhnlich eine Harzmasse dazu, welche aber nicht zu spröde sein darf, denn in diesem Falle würde der Kuchen bald rissig werden. Bloßes Pech und reines burgundisches Harz sind daher nicht wohl zu brauchen. Volta goß Elektrophore von reinem Gummilack, so wie anderen harzigen Materien und von Schwefel; empfiehlt jedoch als vorzügliche Masse des Kuchens eine Mischung von 3 Theilen Terpentin, 2 Theilen Harz und 1 Theile Wachs. Diese Substanzen ließ er einige Stunden hindurch zusammen kochen und setzte dann noch etwas Mennig dazu, um die Farbe der Mischung zu erhöhen. Nach Bickel soll man 5 Theile Gummilack (in Tafeln) 3 Theile reinen Mastix und 2 Theile venetianischen Terpentin in Leinewand zusammengebunden in einem neuen irdenen glasirten Geschirre bei gelinden Kohlenfeuer zerlassen, durch die Leinwand drücken und entweder noch flüssig in die Form bringen oder auch nach dem Erkalten in Gestalt eines Pulvers aufstreuen und wieder zerlassen. Jaquet empfiehlt eine Mischung von gleichen Theilen Kolophonium und weißem Pech mit etwas Terpentin, um das Springen zu verhüten und etwas Zinnober zur Färbung. Lichtenberg nahm zu seinem später näher zu beschreibenden großen Elektrophore eine Mischung von gemeinem Harze, Terpentin und burgundischem Pech. Nach Robert soll eine Mischung aus 10 Theilen Gummilack, 3 Theilen Harz, 2 Theilen Jungfernwachs, 2 Theilen venetianischen Terpertin und $^1/_2$ Theil Pech sehr viele Elektricität geben und dieselbe lange an sich halten. Pfaff fand eine Mischung aus 8 Theilen **Kolophonium**, 1 Theile

Schellack und 1 Theile venetianischen Terpentin vorzüglich brauchbar. Da die Gutta Percha, nach den Untersuchungen Faraday's *), sich durch ein hohes Isolationsvermögen auszeichnet, und in der Wärme leicht geformt werden kann, so möchte dieselbe auch zur Anfertigung von Elektrophorkuchen geeignet sein. Schönbein **) empfahl als elektrisches Papier zur Darstellung von Elektrophoren das Collodion, was eben nichts anderes als in Aether aufgelöste Schießbaumwolle ist, die sich dann mittelst eines Pinsels leicht zu Häutchen ausstreichen läßt. Hiernach wurden von Meynier ***) isolirende Zeuge aus Holzfasern verfertigt, die ähnlich wie die Schießbaumwolle präparirt waren.

Wenn man den Kuchen aus verschiedenen Harzen bereiten will, so werden dieselben in einem neuen irdenen Topf oder Tiegel zusammengeschmolzen und wohl durch einander gerührt. Nach der Quantität der Masse muß man diese längere Zeit über dem Feuer stehen lassen, um wo möglich alle Luft und Feuchtigkeit aus ihr zu vertreiben, dabei aber das Feuer wohl in Acht nehmen, damit nicht die harzige Masse sich entzünde; denn hierdurch verliert sie sehr an Fähigkeit durch Reiben elektrisch zu werden. Die fließende Masse wird in die Form gegossen und zwar in so großer Menge, daß sie mit dem Rande derselben in gleichem Niveau steht und eine vollkommen gleichmäßige Ebene bildet. Die Blasen, welche sich beim Giessen des Elektrophors in der Harzmasse bilden, müssen dadurch vertrieben werden, daß man dicht über sie hin, aber ohne die Masse zu berühren, mit einem glühenden Eisen oder heißen Stahle fährt. Durch ein ähnliches Ueberfahren mit einem heißen Eisen können auch später im Kuchen entstandene Risse zugeschmolzen werden. Der Harzkuchen erhält so eine spiegelglatte Oberfläche, doch hat die Erfahrung gezeigt, daß er noch wirksamer wird, wenn man diese glatte Oberfläche mit feinem Bimssteinpulver abreibt. Der Harzkuchen erhält nach Maßgabe seines horizontalen Durchmessers eine verschiedene Dicke; bei kleinen Elektrophoren ist eine Dicke von $1^1/_2$ Linien schon hinreichend, Elektrophore von $1^1/_2$ bis 2 Fuß Durchmesser müssen aber einen 4 bis 5 Linien dicken Harzkuchen haben, indem sonst der elektrische Deckel beim Aufheben sich durch den Kuchen hindurch diesen zerstörend nach der Form entladen kann.

Der Deckel (das Schild) ist eine metallene Scheibe oder eine mit Stanniol oder Silberpapier überzogene Scheibe von Holz, deren Ränder wohl abgerundet sind und deren Durchmesser je nach der Größe des Elektrophors 1, 2 bis 6 und mehr Zoll kleiner als der des Kuchens ist. Man kann auch zu Herstellung der Oberscheibe einen Reif von steifgeleimter Pappe oben und unten mit Leder, Papier oder Leinewand überspannen und äußerlich rundum mit Zinnfolie überziehen. Bildet der Deckel einen Cylinder von merklicher Höhe, so nennt man ihn eine Trommel. Der Deckel muß mit einer Vorrichtung versehen sein, mittelst welcher er isolirt abgehoben werden kann. Entweder man kittet in die Mitte desselben eine überfirnißte Handhabe von Glas oder man befestigt an Oesen oder in seitwärts angebrachte Löcher 3 oder mehrere seidene Schnüre, welche oberwärts

*) Phil. Mag. Ser. III. T. XXXII. p. 165; Poggend. Ann. Bd. LXXIV; Dingler's polyt. Journ. Bd. CXVIII. S. 14.

**) Poggend. Ann. Bd. LXVIII. S. 159; Dingler's polyt. Journ. Bd. C. S. 379.

***) Compt. rend. 1848. No. 2; Dingler's polyt. Journ. Bd. CXVIII. S. 235.

zusammengeknüpft sind. Die Handhabe muß jedenfalls so hoch sein, daß die sie oben fassende Hand außer dem elektrischen Wirkungskreise des Deckels sich befindet.

Bei der Operation mit dem Elektrophore müssen Teller und Deckel, sobald dieser auf dem Kuchen liegt in leitende Verbindung gesetzt werden. Um diese herzustellen, bedient man sich gewöhnlich der Hand, kann aber auch (welches besonders bei Anwendung des Elektrophors z. B. zur elektrischen Lampe nöthig) diese Verbindung ein für allemal dadurch einleiten, daß man von der Oberfläche der Form aus einen schmalen Stanniolstreifen so weit auf den Kuchen mit etwas Hausenblase auftlebt, daß der auf den Kuchen gesetzte Deckel mit dem Stanniolstreifen in Berührung tritt.

Die in der angegebenen Weise gegossenen Elektrophore haben den Nachtheil, daß, indem sie ringsum an dem aufwärts stehenden Rande der Form fest anhängen, sie sich dem Wechsel der Temperatur gemäß nicht frei aus- und zusammenziehen können, daher in der Kälte leicht Risse bekommen, in der Wärme aber sich erheben und eine convexe Oberfläche annehmen. Auch wird beim Gießen die Oberfläche selten vollkommen eben, daher Pfaff gepreßte Elektrophore, welche diese Mängel nicht haben, vorschlägt *).

Die zwei größten bis jetzt ausgeführten Elektrophore sind in Göttingen und Wien verfertigt worden. Bei jenem hatte der Kuchen einen horizontalen Durchmesser von 7 Fuß und $^1/_2$ Zoll Dicke und bestand aus 56 Pfund Harzmasse. Der Deckel hatte 6 Paris. Fuß im Durchmesser, war 2 Linien dick und massiv von Zinn. Da er 76 Pfund wog, so mußte er durch einen Flaschenzug auf und nieder gelassen werden. Er war an 13 vier Fuß langen Schnüren aufgehängt, die in Ringen, welche in den Deckel gegossen, befestigt und oben in einen großen Ring vereinigt waren. Am äußeren mit Zinnfolie belegten Rande der Tafel, in welche der Harzkuchen gegossen war, befand sich ein Haken mit einer Kette, an deren Ende eine 14zöllige Kugel hing. Der Haken stand mit einem 4 Zoll langen, 1 Zoll breiten, in die untere Tafel eingelassenen Messingstreifen in Verbindung. Diese Vorrichtung mit der Kette und der Kugel diente, um diejenige Verbindung mit dem Deckel herzustellen, die man sonst mit der Hand macht, weil der dabei entstehende Schlag der Hand zu empfindlich war. — Der Wiener Elektrophor hat eine Basis von 8 Fuß im Durchmesser, der Harzkuchen hat 7 Fuß $9^1/_2$ Zoll im Durchmesser und eine Dicke von 2 Zoll und besteht aus $5^1/_2$ Centner Harzmasse. Der Deckel ist im Durchmesser 10 Zoll kleiner als die Harzscheibe und besteht aus einem Reife des stärksten Pappendeckels, der erst mit Leinewand, dann mit Zinnfolie gut überzogen ist. Er wird an 4 starken seidenen Schnüren mittelst eines doppelten Flaschenzuges auf und nieder gezogen. Um die Form mit der Trommel, wenn sie auf dem Harzkuchen steht, in leitende Verbindung zu setzen, ist ein Stanniolstreifen nach der oben angegebenen Art angebracht. — Eines sehr großen Elektrophors hat sich auch Lichtenberg bei seinen sehr sorgfältigen Versuchen bedient. Derselbe war indeß kleiner als die beiden eben beschriebenen, indem die Basis einen Durchmesser von 6 Paris. Fuß, der Deckel von 5 Paris. Fuß hatte.

Schon vor Erfindung des eigentlichen sogenannten Elektrophors durch Volta hat Wilke **) 1762 einer Ladungs-Glasscheibe, deren Belege abgenommen

*) Gehler, N. A. Bd. III. S. 753.

**) Schwed. Abhandl. für das Jahr 1762. Bd. XXIV.

werden können, sich bedient, um alle Erscheinungen des Volta'schen Elektrophors zu beobachten.

Sobald man den Elektrophor in Wirksamkeit setzen will, muß zunächst der Kuchen durch Reibung elektrisch gemacht werden. Dies geschieht bei Harzkuchen, indem man dieselben mit einem trockenen warmen Hasenfelle oder Katzenfelle oder einem Fuchsschwanze oder Flanell schlägt. Nach Pfaff ist das beste, mit einem doppelt zusammengelegten warmen und trockenen Stücke Flanell, das man mit beiden Händen hält, auf den Kuchen zu schlagen und bei jedem Schlage den Flanell über den ganzen Kuchen hinweg gegen sich zu ziehen oder den Kuchen auf eben diese Art doch stets nach derselben Richtung zu peitschen. Durch fortwährende Wiederholung dieser Reibung wird der Kuchen mehr und mehr elektrisch, bis er endlich ein gewisses Maximum (einen gewissen höchsten Grad) der Elektricität erlangt hat. Wenn man nachher den Deckel auf den elektrischen Harzkuchen legt, so bewahrt dieser an einem trocknen Platze aufgestellt die Elektricität sehr lange, wodurch der Name beständiger Elektricitätsträger seine Rechtfertigung erhält. Ein Elektrophor, bei welchem statt des Harzkuchens eine Glasscheibe angebracht ist, wird durch Reibung mit einem mit Amalgam eingeriebenen Leder elektrisch gemacht.

Die Erscheinungen am Elektrophor lassen sich sämmtlich aus denjenigen Erscheinungen erklären, welche man unter Vertheilung der Elektricität zusammenfaßt und von denen im Artikel Elektricität die Rede ist. Wenn man auf einem elektrisch gemachten Harzkuchen eine glatte Metallfläche auflegt, so wird der letzteren keine Elektricität mitgetheilt, denn wenn man sie, ohne sie berührt zu haben, isolirt abhebt, so zeigt sie so wenig wie vor der Berührung mit der Harzfläche einige Spuren von Elektricität; wohl aber zeigt sich die Metallplatte elektrisch, wenn man sie während ihrer Berührung mit der elektrischen Harzfläche berührt und dann isolirt abhebt, doch entgegengesetzt elektrisch gegen den Harzkuchen. Es findet also in diesem Falle nicht Mittheilung, sondern Vertheilung der Elektricität statt. Wenn man sich die Gesetze der Vertheilung der Elektricität genau ins Gedächtniß ruft, so werden die nachstehenden Erscheinungen am Elektrophor mit ihren Gründen vollkommen verständlich sein.

Wenn man den Deckel des Elektrophors (welcher hier nicht mit dem S. 847 angegebenen Stanniolstreifen versehen sein darf), indem man ihn an der gläsernen Handhabe oder den seidenen Schnüren hält, auf die Harzfläche so aufsetzt, daß er nach allen Seiten in ziemlich gleicher Entfernung von dem Rande des Tellers absteht und ihn sodann, ohne ihn berührt zu haben, wiederum abhebt, so zeigt er keine Spur von Elektricität, wenn man ihn einem Elektroskope nähert, ein Beweis, daß keine Mittheilung der Elektricität stattgefunden hat. Nur dann wird der Deckel in diesem Falle durch Mittheilung elektrisch geworden sein und beim Aufheben einen schwachen Funken geben, wenn er auf seiner unteren Fläche Unebenheiten hat und der Harzkuchen stark elektrisch ist.

Die Harzfläche ist nach der gewöhnlichen Bezeichnung negativ elektrisch; während daher der Deckel auf ihr ruht, wird das elektrische Gleichgewicht in ihm gestört. Die positive Elektricität des Deckels wird durch die negative Elektricität des Kuchens gebunden; die negative Elektricität des Deckels ist somit frei und sobald man, während der Deckel auf dem Kuchen ruht, den Deckel mit dem Finger berührt, entzieht man ihm die freie negative Elektricität: man erhält einen kleinen schneidenden Funken. Hebt man hierauf den Deckel an seiner isolirenden Handhabe

vom Kuchen ab, so enthält er freie positive Elektricität, die nun nicht mehr von der negativen Elektricität des Kuchens gebunden wird, und kann dieselbe durch den Finger dem Deckel entziehen: man erhält einen nach der Größe des Instrumentes sich richtenden elektrischen Funken, ganz wie von dem Conductor einer Elektrisirmaschine. Hierdurch wird der Deckel seiner Elektricität entladen. Man kann nun diesen Versuch, so oft man will, wiederholen. Durch die hierbei stattfindende Ladung des Deckels wird die negative Elektricität des Kuchens nicht im geringsten vermindert, weil, wie man sieht, keine Mittheilung der Elektricität stattfindet.

Etwas Aehnliches, wie zwischen dem Kuchen und dem Deckel, geht auch zwischen dem Kuchen und der Form vor. Durch die auf der Oberfläche des Harzkuchens erregte — E wird nämlich auch das elektrische Gleichgewicht der Form gestört. Die — E der letzteren erleidet eine Zurückstoßung und fließt in den Boden ab, während ihr + E einen Theil der — E des Harzkuchens bindet. Um des letzteren Umstandes willen haftet die durch das Reiben erregte — E fester an dem Harze, und dieses kann deshalb auch eine größere Menge davon annehmen. Allmälig wird aber die untere Fläche des Kuchens selbst negativ elektrisch, was mit einer Abnahme des positiv elektrischen Zustandes der Form verbunden ist. Die verschiedenen elektrischen Zustände des Apparates lassen sich nun leicht mit Hülfe zweier Elektroskope nachweisen, von denen das eine mit der Form, das andere mit dem Deckel in leitender Verbindung steht. Zu diesen Versuchen am bequemsten ist ein kleiner Elektrophor, den man ohne Weiteres auf die Platte eines Elektroskopes setzen kann.

Bringt man nun den Deckel auf die Oberfläche des Kuchens, nachdem dieser negativ elektrisirt ist, so zeigt er an dem mit ihm verbundenen Elektroskope freie — E, und wenn man die letztere ableitet, giebt das Elektroskop der Form freie + E zu erkennen, womit die Bindung einer entsprechenden Menge + E im Deckel zusammenhängt. Der Deckel empfängt aber eine größere Menge solcher Elektricität, wenn man der Form ihre freie + E entzieht, und in dem Augenblick, wo dies geschieht, zeigt das Elektroskop des Deckels wieder freie — E an, durch deren Ableitung eben seine positive Ladung verstärkt wird. Diese Manipulation kann man nun so oft wiederholen, bis die Quantität der im Deckel gebundenen + E gerade so viel beträgt, als die auf dem Harze durch Reiben erregte — E überhaupt zu binden vermag. Der Deckel zeigt dann, vom Kuchen abgehoben, freie + E, die Form aber, falls sie vom Kuchen isolirt getrennt werden kann, in geringerem Grade freie — E.

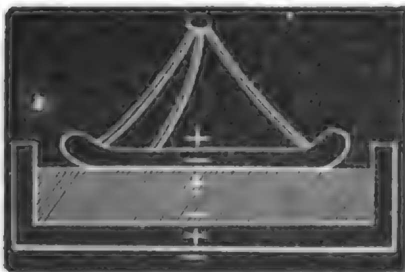
Unter Voraussetzung Eines elektrischen Fluidums erklären sich die Erscheinungen am Elektrophor wie folgt.

Wir wollen zunächst beispielsweise annehmen, der Kuchen werde auf seiner Oberfläche wirklich positiv elektrisch, während die Form mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Alsdann übt das auf der Oberfläche sich ansammelnde Elektricum, vermöge der Repulsion zwischen seinen Elementen, einen Druck aus *), der sich nach allen Richtungen, zum Theil also auch durch die Harzmasse hindurch fortpflanzt. Die Folge davon ist, daß die Elektricität der Form, bisher im Gleichgewichte mit sich selbst, nach der dem Kuchen entgegengesetzten Fläche und von da

*) Vergl. d. Art. Elektricität. S. 721 ff.

in den Boden entweicht. Hierdurch eben geschieht es, daß auf der Oberfläche des Harzes eine größere Menge E sich ansammelt, als außerdem (d. h. ohne leitende Unterlage) möglich wäre. Setzt man nun den isolirten Deckel auf den Kuchen, so muß seine obere Fläche mit diesem gleichnamig, d. h. positiv elektrisch und seine untere negativ elektrisch werden, weil nämlich das auf der Oberfläche des Kuchens angehäufte E die eigene Elektricität des Deckels von der unteren nach der oberen Fläche treibt. Hat man aber dem Deckel sein freies + E durch Berührung mit dem Finger entzogen, so ist die natürliche Folge davon, daß sich der Druck des auf der Oberfläche des Kuchens verbreiteten E fast ganz dem Deckel zuwendet, da er hier den geringsten Widerstand findet. Zugleich wird hierdurch die untere Fläche des Harzkuchens negativ elektrisch, weil sich die elektrischen Sphären der Harztheilchen, eben wegen der Fortpflanzung jenes Druckes auf den Deckel, nach der oberen Fläche hindehnen. Dieser negativ elektrische Zustand der unteren Harzfläche kann aber nicht ohne Einfluß auf das E der Form sein. Dasselbe wird dadurch veranlaßt, die dem Kuchen zugekehrte Fläche einzunehmen, womit die untere Seite der Form negativ elektrisch und zugleich fähig wird, einiges E aus dem Boden aufnehmen, falls sie mit diesem in leitender Verbindung steht.

Die untere Fläche des Harzes läßt sich, noch ehe dem Deckel sein freies + E entzogen, als negativ elektrisch betrachten, in sofern der Druck, welcher von der oberen Fläche ausgeht, dadurch, daß er sich ganz dem Deckel zuwendet, nach der entgegengesetzten Seite hin geschwächt wird. Gleichwohl übt das E des Deckels einen Gegendruck aus, welcher verhindert, daß der negativ elektrische Zustand der unteren Harzfläche in höherem Grade hervortritt, was erst dann geschehen kann, wenn man dem Deckel sein freies + E durch Berührung mit dem Finger entzogen hat. Berührt man aber gleichzeitig mit einem Finger den Deckel und mit einem anderen die Form, so erhält man einen Stoß, indem die freie + E des Deckels sich mit dem negativ elektrischen Zustande der unteren Fläche der Form vermittelst des Körpers ausgleicht. Der Deckel ist nun (nach ableitender Berührung) durchweg negativ elektrisch, und wenn man ihn vom Kuchen abhebt, so entlockt er dem angenäherten Finger einen lebhaften Funken. Die Form würde aber in demselben Moment freie + E zeigen, wenn sie, wie der Deckel isolirt wäre. Denn da ihr eigenes E großentheils an der oberen Fläche haftet, und der negativ elektrische Zustand ihrer unteren Seite durch Zuleitung einer gewissen Quantität von E ausgeglichen ist, so hat sie nun jedenfalls mehr E als im gewöhnlichen Zustande, so daß sie im Augenblick der Abnahme des negativ elektrischen Deckels mit freier + E auftreten muß.



Das Princip der Erklärung bleibt im Wesentlichen ganz dasselbe, wenn man die Oberfläche des Kuchens, anstatt positiv, durch Entziehung von E negativ elektrisirt. In diesem Falle läßt sich dann die Unterseite als positiv elektrisch ansehen. Setzt man nun den Deckel auf, so zieht sich das ihm inwohnende E nach der negativen Harzfläche hin, und wenn man ihn dann mit dem Finger berührt, so nimmt er, da seine obere Fläche negativ elektrisch ist, einiges E auf, so daß er, vom Kuchen isolirt aufgehoben, freie + E zeigt. Die Vertheilung der Elektricität

in der Form ergiebt sich nun sehr leicht; sie ist die entgegengesetzte von der im vorigen Falle.

Aus dem bisher Mitgetheilten geht von selbst hervor, daß man des Elektrophors als einer Elektrisirmaschine sich bedienen kann, indem man aus dem vom Kuchen nach der Berührung abgehobenem Deckel ganz wie aus dem ersten Leiter einer Elektrisirmaschine Funken ziehen kann, und zwar immer aufs neue nach jedesmaligem Wiederaufsetzen, Berühren und Abheben. Man kann auch durch wiederholtes Funkenausziehen mittelst einer Leidner Flasche diese laden. Die Flasche wird (mittelst eines Harzelektrophors) positiv geladen, wenn man wie gewöhnlich an ihre äußere Belegung die Hand hält und die Funken in ihren Knopf schlagen läßt; negativ hingegen, wenn man sie auf den Deckel stellt, mit demselben negativ aufzieht und dann ihren Knopf berührt, oder wenn man sie am Knopfe hält und die Funken aus dem Deckel in die äußere Belegung schlagen läßt. Der Elektrophor steht der Elektrisirmaschine zwar in Hinsicht der Stärke des Funkens und der Bequemlichkeit der Einrichtung nach, zeichnet sich dagegen durch Wohlfeilheit aus und durch die erwähnte Eigenschaft Monate, selbst Jahre lang die Elektricität zurückzuhalten, nachdem dieselbe einmal durch Reibung in ihm erzeugt worden. Dieses letzteren Umstandes wegen bedient man sich seiner auch namentlich bei den elektrischen Lampen. Uebrigens ist er, wie wir gesehen haben, besonders geeignet, die Erscheinungen der durch Vertheilung wirkenden Elektricität hervorzurufen; auch dient er zu Hervorrufung der merkwürdigen Lichtenberg'schen Figuren (s. d. Art. Elektricität S. 750 ff.)

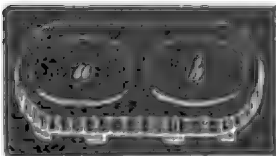
Die Stärke des elektrischen Funkens am Elektrophor nimmt mit der Größe des Instrumentes, der Ebenheit der sich berührenden Flächen und der Vollkommenheit der Isolirung zu. Bei sehr großen Elektrophoren kann man einen Funken erhalten, welcher dem aus dem ersten Leiter einer Elektrisirmaschine nicht nachsteht. Der isolirte Teller der oben beschriebenen Göttingen'schen Elektrisirmaschine gab nach dem Reiben mit dem Hasenfelle Funken von 4 bis 6 Zoll Länge; wenn man Form und Deckel mit der Hand verband, so erhielt man einen erschütternden Funken wie von einer starken Leidner Flasche. Der aufgehobene Deckel lud mit 3 bis 4 Funken eine Leidner Flasche von 1 Quadratfuß Belegung so stark, daß sie ausströmte. Die Funken des aufgehobenen Deckels fuhren oft blitzähnlich in einer Länge von 15 Zoll und der Dicke eines Federkiels auf die Harztafel und zerschmetterten das Harz.

Die Kraft eines Elektrophors kann nach Volta's Angabe mittelst einer geladenen Flasche sehr erhöht werden. Nachdem man mit dem Deckel des Elektrophors eine Leidner Flasche geladen hat, stellt man dieselbe auf den Kuchen, faßt den Knopf mit der Hand und führt die Flasche mit ihrer äußeren Belegung auf dem Kuchen hin und her. Hierbei entladet sich die Flasche allmälig, indem die äußere Belegung ihre negative Elektricität an den Kuchen abgiebt und zugleich die positive Elektricität ohne eine Erschütterung zu geben allmälig durch die Hand abgeleitet wird. Auf diese Weise wird der Kuchen stärker negativ elektrisch als durch bloßes Reiben; ist die Flasche entladen, so kann man sie mit dem Deckel aufs neue laden und indem man wie vorher verfährt, die Kraft des Elektrophors noch weiter erhöhen. Ist hierbei die Form nicht isolirt, so darf man ihr mit der Flasche nicht zu nahe kommen, indem sich diese sonst durch einen erschütternden Funken auf einmal entladet. Man kann daher auch den Knopf der auf den Kuchen gestellten

Flasche durch einen Auslader mit der Form in leitende Verbindung setzen und dann die Flasche mit einer Glasröhre auf dem Theile des Kuchens hinschieben, auf den nachher der Deckel zu liegen kommt. Wenn man mit dem positiv elektrischen Knopf einer geladenen Flasche auf dem Harzkuchen hin und her fährt, dabei die negativ elektrische Belegung der Flasche in der Hand hält, so wird anfangs die negative Elektricität des Kuchens aufgehoben, später aber erhält dieser einen Ueberschuß von positiver Elektricität.

Um die positive und negative Elektricität bequem neben einander zu haben, hat Lichtenberg *) dem Elektrophor eine Einrichtung gegeben, die er unter dem Namen doppelter Elektrophor beschrieben hat.

Es wird ein Brett von Lindenholz, etwa 2 Fuß lang, 1 Fuß breit und 1 Zoll dick genommen, und dasselbe mit Stanniol oder Goldpapier und dergleichen überzogen, so daß auch der äußere Rand belegt ist. Um dieses belegte Brett wird ein Rand von dünnem Holzspan mittelst metallener Nägel, welche bis in die Belegung hineingehen, befestigt, welche etwa $2^1/_2$ Linien über das Brettchen hervorragt. Dieß Brett, welches auf diese Weise die Gestalt einer Schüssel hat, wird mit einer Harzcomposition ausgefüllt. Der Deckel hierzu hat etwa 10 Zoll im Durchmesser. Hierauf wird nun die eine Stelle a mit Katzen- oder Hasenbalge oder auch mit Flanell gerieben, wodurch sie negativ elektrisirt wird, wogegen aber der aufgesetzte und berührte Deckel die positive Elektricität erhält. Auf die andere Seite b wird aber ein messingener Ring gestellt, welcher etwa 1 Zoll im Durchmesser und dieselbe Höhe hat; auf diesen wird der auf der Stelle a gewesene und berührte Deckel gebracht, wodurch die Stelle des Harzkuchens, welche der Ring berührt, positive Elektricität erhält. Nach dieser Verrichtung wird der Ring mittelst eines Nichtleiters, als einer Stange Siegellack, einer Glassäule, eines Federkiels u. s. f. ein wenig aus seiner vorigen Lage verschoben, bis derselbe etwa nach acht solcher Verrichtungen über den ganzen Raum b gekommen ist, worauf er ganz abgenommen wird. Dadurch ist b positiv geworden; mithin erlangt der auf b gelegte und berührte Deckel die negative Elektricität. Hieraus sieht man also, daß beide Elektricitäten sich nun neben einander befinden und auf bequeme Art benutzt werden können; die Stelle a macht den Deckel positiv, und b denselben negativ. Mit dieser negativen Elektricität kann a noch stärker negativ gemacht werden, wenn man den messingenen Ring auf a stellt und mit dem von b aufgehobenen Deckel einen Funken daraus zieht. Und auf diese Weise kann auch b noch stärker positiv gemacht werden. Hieraus sieht man deutlich, daß auf solche wechselseitige Art beide Stellen a und b einen beträchtlichen Grad von Elektricität erlangen können.



Auch J. Weber hat einen Doppelelektrophor beschrieben, der aus einem nicht in einer Form gegossenen, sondern auf beiden Flächen freien Harzkuchen besteht. Wenn man auf einer Seite diesen Kuchen durch Reibung negativ oder mittelst einer Leidner Flasche positiv elektrisch macht, so zeigt die gegenüberliegende Seite die der ersten entgegengesetzte Elektricität, so daß man also nur den Kuchen umzudrehen hat, wenn man die Erscheinungen entgegengesetzter Elektricität

*) Magazin für das Neueste aus der Physik und Naturgeschichte. Bd. I. St. 2. S. 42.

hervorbringen will. Statt einer Harzplatte kann man sich auch einer Glasplatte bedienen.

Elektroskop, s. Elektrometer.

Elektrotyp, s. Galvanoplastik.

Elektrum bezeichnet eine schon den Alten bekannte *) natürliche Legirung von Gold und Silber. Das Elektrum, wie man es in neuerer Zeit in Columbien, zu Kongsberg, in Sibirien (am Schlangenberg) ꝛc. gefunden, erscheint theils in Blättchen, theils in Würfeln und Oktaëdern krystallisirt, hat eine blaßgelbliche Farbe und ein specifisches Gewicht = 12,6 — 14,8.

Elemente, chemische, s. Einfache Körper oder Stoffe.

Elementenglas nannte man früher ein Gefäß, worin sich vier Flüssigkeiten befinden, die sich beim Schütteln nach ihren verschiedenen specifischen Gewichten über einander lagern, und die vier Elemente der Alten vorstellen sollten. Die hierzu benutzten Flüssigkeiten sind Quecksilber, eine Auflösung von reinem kohlensaurem Kali in Wasser, gewöhnlicher Weingeist und rectificirtes Steinöl.

Eliasfeuer, Elmsfeuer, s. Luftelektricität.

Elongation, Ausweichung, s. Planeten.

Email oder Schmelz nennt man die glasartige Masse, mit welcher Metallarbeiten zum Schutze gegen chemische Einwirkung (z. B. gußeiserne Gefäße) oder zur Verzierung (Schmuckgegenstände) überzogen werden. Es ist farblos oder gefärbt, durchsichtig oder undurchsichtig und ist wesentlich kieselsaures Bleioxyd-Kali (oder Natron), also eine durchsichtige Glasmasse, welcher Zinnoxyd in größerer oder kleinerer Menge zugesetzt wird **). Dieses Oxyd schmilzt mit dem Glasflusse zu einem undurchsichtigen Glase zusammen, in welchem es nicht chemisch gebunden, sondern als fein zertheilte Masse enthalten ist. Anstatt des reinen Zinnoxydes wendet man meist Gemenge von Bleioxyd und Zinnoxyd an, weil dies leichter zu gewinnen ist und das Bleioxyd ohnehin nicht entbehrt werden kann. Solche Gemenge bereitet man aus Legirungen von Zinn und Blei (von bekanntem Gehalt), indem man diese bei zureichendem Luftzutritt bis zum dunklen Rothglühen erhitzt, die gebildeten Oxydschichten von Zeit zu Zeit hinwegnimmt und zuletzt das Oxyd zur Befreiung von etwa zurückgebliebenen Metallkörnern pulvert und schlämmt. Von einem solchen Gemenge setzt man nun dem Flusse so viel zu, als die erforderliche Schmelzbarkeit des Email erlaubt, und schmilzt es damit zusammen. Um ein recht gleichartiges Product zu erhalten, wird die Masse nach dem Erkalten gepulvert und nochmals geschmolzen. Die Vorschriften zur Darstellung des Email sind sehr verschieden; da der Bleigehalt des Zinnoxyds und die erforderliche Schmelzbarkeit des Email hier besonders in Frage kommen, können bestimmte Vorschriften nicht gegeben werden. Es versteht sich von selbst, daß alle Materialien, die zur Gewinnung des weißen Email insbesondere dienen sollen, ganz rein und frei von färbenden Metalloxyden sein müssen. — Aehnlich wie Zinnoxyd wirken Antimonoxyd und arsenige Säure.

*) Plinius, Hist. nat. XXXIII. p. 23.

**) Dumas fand in einem weißen Email 8,3 Proc. Kali, 50,3 Bleioxyd, 9,8 Zinnoxyd, 31,6 Kieselsäure.

In dem gefärbten Email, das durchsichtig und undurchsichtig angewendet wird, erzeugt man die Färbung durch dieselben färbenden Metalloxyde, welche zur Erzeugung der bunten Gläser und künstlichen Edelsteine (s. d. Art.) dienen. Da es immer nur in dünnen Schichten aufgetragen wird, die meist noch auf farbigen metallischen Flächen liegen, so erfordert es eine größere Menge Farbstoff, als jene. Soll es durchsichtig sein, so nimmt man natürlich einen Zinnoxyd freien Schmelz, einen durchsichtigen Glasfluß *).

Um das Email auf metallischen Flächen zu vertheilen und zu befestigen, werden die Emailgläser fein gepulvert, mit Wasser zu einem dicken Brei angerührt; dieser Brei wird in zweckmäßiger Dicke auf die Fläche, welche vollkommen metallisch sein muß, gebracht und durch Glühhitze festgebrannt.

Email, das zum Ueberziehen von eisernen Kochgeschirren ꝛc. dient, darf natürlich kein Bleioxyd enthalten: man wendet dazu gewöhnlich ein Product an, das durch Zusammenschmelzen von Feldspath, Soda oder gereinigter Potasche, Borax und etwas reinem Zinnoxyd erhalten wird. H. Rt.

Emanationssystem, Emissionssystem ist die Bezeichnung für eine Theorie der Lichterscheinungen, nach welcher das Licht aus feinen materiellen Theilchen bestehen soll, welche mit sehr großer Geschwindigkeit von den leuchtenden Körpern ausgesendet werden, und dann bei ihrem Zusammentreffen mit anderen Körpern verschiedene Einwirkungen der Anziehung und Abstoßung erleiden. Siehe den Artikel Licht.

Emissionstheorie, s. Emanationssystem.

Endosmose und **Exosmose**, s. Exosmose und Endosmose.

Energiatypie, s. Lichtbilder.

Entfernung, wahre und scheinbare. Die wahre Entfernung eines Gegenstandes, Distantia vera, ist der wirkliche Abstand desselben von uns, und wird nach irgend einem bezüglich seiner Größe genau bekannten Längenmaße, z. B. nach Zollen, Fußen, Ellen, Ruthen, Toisen, Meilen ꝛc. gemessen und angegeben. Im Allgemeinen wird die wahre Entfernung zweier auf der Erdoberfläche selbst (als einer Kugelfläche) befindlichen Punkte von einander dargestellt durch den zwischen ihnen befindlichen Bogen eines durch die beiden Punkte gelegten größten Kreises, die wahre Entfernung der Mittelpunkte zweier Himmelskörper von einander aber durch eine diese beiden Punkte mit einander verbindende gerade Linie. Die Geodäsie nun lehrt die wahre Entfernung zweier Gegenstände auf der Erde und die Astronomie die zweier Himmelskörper zu bestimmen. — Unter der scheinbaren Entfernung, Distantia apparens, versteht man den Winkel am Auge, gebildet durch die zwei von diesem aus nach den beiden Gegenständen, deren scheinbare Entfernung von einander angegeben werden soll, gezogen gedachten geraden Linien. Auf eine solche Weise ist z. B. der scheinbare Abstand zweier Sterne von einander zu verstehen, und zwar wird diese scheinbare Entfernung im Bogenmaße, d. h. in Graden,

---

*) Ebelman und Salvétat fanden in einem blauen Email für Kupfer: Kieselsäure 51,00, Bleioxyd 34,57, Kobaltoxyd 1,00, Kalk 2,00, Kali und Natron 10,73. Grün für Silber Kieselsäure 53,68, Bleioxyd 25,30, Eisenoxyd 0,46, Manganoxyd 0,20, Kupferoxyd 0,60, Kali und Natron 17,50.

Minuten ꝛc. angegeben. — Aus den hier gegebenen Erklärungen der wahren und scheinbaren Entfernung folgt übrigens von selbst, daß eine dieser beiden, ohne noch andere bekannte Stücke, nicht aus der andern allein sofort bestimmt werden könne. Jahn.

Entlader, s. Auslader.

Epakte ist eine der in den Kalendern vorkommenden chronologischen Zahlen, die für das betreffende Jahr die Anzahl Tage angiebt, um welche der letzte Neumond im vorigen Jahre dem Neujahrstage des betreffenden Jahres vorausgegangen ist, welche Anzahl verflossener Tage man das Alter des Mondes nennt. Hat irgend ein Julianisches Jahr mit einem Neumonde begonnen, so werden am Anfange des nächsten Jahres schon 10 Tage 21 St. 11 Min. 27 Sec. seit dem letzten, im vorigen Jahre noch eingetretenen Neumonde verflossen sein, indem das Mondenjahr kleiner als das Sonnenjahr ist, nämlich nur 354 Tage 8 St. 48 Min. 33 Sec. enthält. Jener Unterschied von 10 Tagen 21 St. 11 Min. 27 Sec., der die astronomische Epakte (astronomisches Alter) heißt, kann aber niemals den synodischen Monat von 29 Tag. 12 St. 44 Min. $2^3/_4$ Sec. übersteigen. Mithin ist die astronomische Epakte am

1. Jan.	des	2. Jahres	10 Tage	21	St.	11	Min.	27	Sec.	
"	"	3. "	21 "	18	"	22	"	54	"	
"	"	4. "	3 "	2	"	50	"	$18^1/_4$	"	u. s. w.

Man hat jedoch zur Vereinfachung der im kirchlichen Theile des Kalenders vorkommenden Rechnungen den synodischen Monat zu 30 Tagen voll angenommen, so daß die Epakte am 1. Jan. des 2. Jahres 11, am 1. Jan. des 3. Jahres 22 ꝛc. beträgt, welche Epakte nun die kirchliche Epakte, d. h. die gewöhnliche Epakte des Kalenders genannt worden ist. Hiernach wird am Anfange des 20. Jahres, d. i. für das 19. Jahr selbst die Epakte 29 und für das 20. Jahr, d. i. für das erste Jahr der neuen Periode die Epakte 10 sein. Statt dieser 10 wird jedoch immer 11 genommen, was man den Sprung der Epakte nennt, mit dem es sich wie folgt verhält. Der Neumond rückt in 19 Jahren um 11mal 19, d. h. 209 Tage fort. Weil aber stets, sobald 30 Tage voll sind, dieselbe in Abzug kommen, so müßte, wenn dies zum 7. Male geschähe, der Mond dann um 210 Tage fortrücken. Mithin wird mit Recht beim letzten Uebergange von der Epakte 19 auf die Epakte im ersten Jahre der neuen Periode abermals mit der Epakte 11 (statt 10) begonnen. Weil jedoch der Meton'sche Cyklus 235 synodische Monate oder 6939 T. 16 St. 30 Min. $46^1/_4$ Sec. und 19 Julianische Jahre (zu $365^1/_4$ Tagen) 6939 T. 18 St. enthalten, beide also nur um 1 St. 29 Min. $13^3/_4$ Sec. von einander verschieden sind, so erhellet hieraus, warum nach Verlauf von 19 Julianischen Jahren die Neumonde wieder sehr nahe auf die nämlichen Monatstage fallen müssen, wie vor 19 Jahren. Weil aber jener Unterschied von 1 St. 29 Min. $13^1/_3$ Sec. in 300 Jahren bis auf 23 St. 28 Min. $52^{17}/_{19}$ Sec. anwächst, d. h. fast bis auf einen ganzen Tag, so beträgt nach Ablauf von 300 Jahren bei Anwendung der kirchlichen Epakte und der 19jährigen Periode (Mondcyklus) der Fehler beinahe einen Tag. — In dem Art. Goldene Zahl wird gezeigt, wie man für irgend ein gegebenes Julianisches oder Gregorianisches Jahr die Epakte finden kann; hier werde nur noch bemerkt, daß die Epakte in Verbindung mit der goldenen Zahl und dem Sonntagsbuchstaben

(s. d.) bis auf die neueste Zeit von den Chronologen zur Bestimmung des Ostersonntags angewandt worden ist. Jahn.

Ephemeriden oder astronomische Jahrbücher sind jährlich erscheinende Bücher, welche für den Meridian und Horizont eines bestimmten Ortes alle den Sonnen-, Mond- und Planetenlauf betreffenden Data, die Zeitgleichung im wahren Mittage und die Sternzeit im mittleren Mittage für alle Tage des Jahres, ferner die Sonnen- und Mondfinsternisse, Jupiterstrabanten-Verfinsterungen, Sternbedeckungen, endlich die mittleren Oerter der Fundamentalsterne und alle sonstigen in dem betreffenden Jahre sich zutragenden wichtigen Himmelsereignisse im Voraus nach den neuesten und besten astronomischen Tafeln genau und vollständig berechnet, enthalten, nebst noch manchen dem beobachtenden oder dem rechnenden Astronomen nützlichen Hülfstafeln. Die Ephemeriden haben den doppelten Zweck, sowohl die directe Berechnung aus den Tafeln für jedem einzelnen Fall zu ersparen als auch den Astronomen im Voraus aufmerksam auf alle diejenigen Erscheinungen zu machen, welche besonders beachtet zu werden verdienen. — Von Zach spricht in der Corresp. astron. T. VII. p. 22. von Ephemeriden des Rabbiners Salomon Jarchus für das Jahr 1150. Jedoch ist Purbach wohl der erste Herausgeber von eigentlichen Ephemeriden, nämlich für die Jahre 1450 bis 1461. Ihm folgten Regiomontan 1474, Stöfler, Leovitius, Origanus und Kepler. Bekannt sind Manfredis 1715 begonnene, durch Zanotti vom J. 1750 an fortgesetzte Ephemerides coelestium motuum. Doch bereits 1679 machte die Pariser Akademie der Wissenschaften den Anfang mit der Connaissance des temps, die, so wie der im J. 1767 zu Greenwich begründete Nautical Almanac, noch jetzt 2 bis 3 Jahre vorausjährlich erscheinen. Hell's 1757 begonnene, alsdann von Triesnecker fortgesetzte Ephemerides astronomicae ad meridianum Viennensem haben erst in neuerer Zeit aufgehört zu erscheinen. Ferner sind die Mailänder Effemeridi astronomiche zu erwähnen, in Bezug auf Deutschland aber ganz besonders das „Berliner astronomische Jahrbuch" unter der mehr als 50jährigen Redaction Bode's, der dasselbe im J. 1776 zum ersten Male herausgab. Seit 1830 haben diese Berliner Ephemeriden unter Encke's Leitung eine treffliche Einrichtung, große Genauigkeit und ziemliche Vollständigkeit erlangt. — Wenn nun gleich die Sternwarten zu Paris, Greenwich und Berlin, wie bereits erwähnt, jetzt die besten Ephemeriden liefern, so ist dennoch und zwar in gewisser anderer Beziehung es sehr zu bedauern, daß Harding's Kleine astronomische Ephemeriden und v. Boguslawski's Breslauer Uranus nach dem Tode ihrer Herausgeber nicht fortgesetzt worden sind.

Schließlich braucht wohl kaum erwähnt zu werden, daß den Ephemeriden eine Andeutung ihrer Einrichtung und eine Anleitung zu ihrem Gebrauche gewöhnlich beigefügt ist. Jahn.

Epoche, in der Astronomie, s. den Art. Planeten.

Epoche heißt in der Chronologie der Zeitpunkt, von dem aus die Jahre irgend einer Zeitrechnung gezählt werden. Es ist mithin Epoche der Tag, mit welchem irgend eine Aera beginnt. Wenn die Epoche genau bestimmt ist, so ist es dann auch die von ihr abhängende Jahreszahl. Um möglichst feste Begründung

der wichtigsten Epochen haben sich Scaliger, Petavius, Riccioli, Calvisius, Eusebius u. A. nicht geringe Verdienste erworben.

Jahn.

Erbium. — 1843 entdeckte Mosander *), daß die bis dahin für eine einfache Erde gehaltene Yttererde ein Gemenge von drei verschiedenen Erden ist; die stärkste der drei Basen behielt den Namen Yttererde, während die beiden übrigen Erbinerde und Terbinerde benannt wurden. Setzt man zu der salzsauren Lösung der Yttererde Ammoniak in kleinen Portionen und sammelt die jedesmal erhaltenen Niederschläge für sich, so enthalten die ersten Niederschläge viel Erbinerde, weniger von den beiden andern. Aus diesen kann man die Erbinerde darstellen, wenn man dieselbe in salpetersaures und oxalsaures Salz umwandelt und dieses zum Glühen erhitzt; sie besitzt eine tiefgelbe Farbe. Ihr schwefelsaures Salz schmeckt zuckersüß, ist farblos und krystallisirt in kleinen zusammengewachsenen Säulen. Salpetersaure Erbinerde bildet eine strahlige, gewöhnlich farblose Krystallmasse, die an der Luft nicht zerfließt. Das Metall der Erbinerde ist bis jetzt noch nicht dargestellt. Uebrigens ist die Trennung der oben genannten drei Erden von einander sehr schwierig.

H. Mt.

Erdachse, s. Erde.

Erdbahn, s. Erde.

Erdbeben, Erderschütterungen bestehen in mehr oder weniger heftigen Bebungen und Erschütterungen der Erdoberfläche, welche sich bald über größere, bald über geringere Flächen Landes erstrecken, oft von den unheilvollsten Wirkungen begleitet sind und wie die Vulkane durch eine Reaction des Erdinnern gegen das Aeußere bedingt werden.

Von welcher Art ist die Bewegung? Wie lange dauern die Erschütterungen? Welche Ausdehnung haben die Erdbeben? Sind sie von den Jahreszeiten abhängig? Treten sie nur in bestimmten Gegenden der Erde auf? Werden die Erdbeben durch irgend welche Vorboten angekündigt? Welches sind die gewöhnlichen Folgen? Worin haben die Erdbeben ihren Grund? Das ist ein Theil der Fragen, welche sich bei dieser großartigen Erscheinung aufdrängen und die in dem Folgenden vorzugsweise ins Auge gefaßt werden sollen.

Die Art der Bewegung ist verschieden, und besteht entweder aus verticalen Stößen, oder ist wellenförmig, oder rotatorisch; oft erscheinen die beiden ersten Arten gleichzeitig, in einzelnen Fällen wohl auch alle drei.

Der verticale Stoß documentirt sich in seiner minenartigen Wirkung, und solche Stöße sind es, welche zum Theil die sonderbarsten, wenn nicht verbürgt, kaum glaublichen Erscheinungen zur Folge haben **). Als Thatsache wird z. B. von

*) Ann. der Pharm. Bd. XLVIII. S. 219. Berzelius, Lehrbuch. 5. Aufl. Bd. II. S. 177.

**) Kurze Beschreibung des Erdbebens, welches Messina und einen Theil Calabriens betroffen. Aus dem Italienischen des H. Torcia. Nürnberg 1783. Vergl. W. Hamilton in Phil. Transact. T. LXXIII.; desgl. Lyell, Principles of geologie. 3 edit. T. II. p. 206 u. 208; auch in deutscher Uebersetzung von K. Hartmann. Quedlinburg 1832.

dem heftigen Erdbeben, welches vom 5. Februar bis zum 28. März 1783 Calabrien und die Stadt Messina zerstörte erzählt, daß ein Mann, eine Frau und ein Esel sammt dem Boden, auf welchem sie gingen, über einen Fluß geworfen wurden, ebenso daß ein Mann auf einem Citronenbaume gesessen habe, während dieser mit dem Erdreiche aufgehoben und eine Strecke fortgeschleudert wurde. Hinzugesetzt wird sogar, daß der Baum an der neuen Stelle wieder festgewachsen sei. Bei dem Erdbeben von Riobamba in der Provinz Quito am 4. Februar 1797 fand man *) viele Leichen der Einwohner auf dem mehrere hundert Fuß hohen Hügel la Cullca, jenseits des Flüßchens von Lican.

Die wellenförmige Bewegung gleicht der Bewegung der Meereswogen, theilt sich auch dem Meere mit und giebt hierdurch oft Veranlassung zu einem plötzlichen, wiederholten Zurückweichen des Meeres an der Küste, wie es an der Westküste Südamerikas besonders oft beobachtet wird. Die Erdwellen, wenn man so sagen will, pflanzen sich entweder linear fort, — z. B. bei dem Erdbeben vom 18. November 1795 in England in der Richtung von Süd-Westen nach Nord-Osten; von den Erdbeben in der Cordillerenkette und Küstenkette von Venezuela berichtet dies Alex. v. Humboldt als das Gewöhnliche, — oder sie verbreiten sich von einem Centrum aus nach allen Richtungen mit einer in größeren Entfernungen von dem Ausgangspunkte abnehmenden Stärke. Ist in dem letzteren Falle die Erstreckung des Erdbebens nach allen Richtungen hin von gleicher oder nicht sehr verschiedener Größe, so bildet die von demselben betroffene Fläche einen sogenannten Erschütterungskreis, bei nach einer Richtung hin überwiegender Erstreckung eine Erschütterungsellipse. Central waren z. B. das Erdbeben 1783 in Calabrien und das am 1. November 1755 von Lissabon. — Bei dem Erdben von Lima 1586 erhob sich eine Welle im Hafen von Callao 84 Fuß hoch. Bei dem Erdbeben, welches 1693 Syracus zerstörte, ging das Meer erst so schnell zurück, daß viele Fische auf dem Grunde liegen blieben, kehrte aber dann mit großer Heftigkeit zurück, trat in die Stadt und in die Citadelle und ließ dort nachher eine Menge Fische zurück. Bei dem Erdbeben von Lissabon 1755 überschwemmte das Meer die Küste von Schweden, England und Spanien und in Amerika die Inseln Antigua, Barbadoes und Martinique. In Barbadoes stieg die Fluth, welche sonst höchstens 28 Zoll sich erhebt, zu 20 Fuß in der Bai von Carlisle und in Cadix überschwemmte eine 60 Fuß hohe Meereswelle einen Theil der Stadt.

Für die rotatorische oder drehende Bewegung, die unheilvollste von allen, sprechen namentlich Stellungsveränderungen sonst feststehender Gegenstände, als das Umwenden von Gebäuden, ohne daß sie umstürzten, Krümmungen von früher parallelen Baumpflanzungen, Verdrehungen von Aeckern, die mit verschiedenen Getreidearten bedeckt waren. Bei dem schon oben erwähnten Erdbeben in Calabrien und dem ebenfalls schon angeführten von Riobamba hat man vielfache Gelegenheit zu dergleichen Beobachtungen gehabt; auch das Erdbeben von Valparaiso am 19. November 1822 ist besonders merkwürdig durch hierher gehörige

*) Alex. v. Humboldt, Voyages aux Terres équinox. T. I. p. 317 und dessen Kosmos. Bd. I. S. 210; überhaupt: Kosmos Bd. I. S. 210—225.

Thatsachen. Mehrere Häuser wurden umgedreht und 3 Palmen wie Weiden um einander gewunden.

Ueber die Dauer der Erschütterung lauten die Angaben sehr verschieden und schwanken zwischen Minuten und Secunden. Der Grund hierfür mag der sein, daß so Wenige eine klare Vorstellung von der so langen Dauer einer Minute haben und nur zu leicht von einer Minute sprechen, wo sie mit einigen Secunden der Wahrheit näher gekommen wären. Hierzu kommt noch, daß die Verwirrung und Betäubung, welche ein Erdbeben nach sich zieht, selten eine ruhige Beobachtung gestatten. In der Schätzung der Zeit geübte Beobachter stimmen darin überein, daß die Erschütterung in der Regel auf die Dauer weniger Secunden beschränkt ist. Bei dem Erdbeben, welches in der Nacht vom 4. bis 5. December 1852 Acapulco zerstörte, erfolgten 4 bis 5 Stöße in der Secunde. Schwächere Erdbeben bestehen nur aus einem einzigen solchen Stoße; meistens kehren aber die Stöße nach längeren oder kürzeren Zwischenräumen wieder und suchen dieselbe Gegend nach solchen Pausen wohl Monate heim. So hat man es namentlich in Südamerika erlebt, daß die Erschütterungen Monate lang anhielten und sich fast zu jeder Stunde einstellten, auch ist es in der Andeskette vorgekommen, daß dieselben ununterbrochen mehrere Tage hinter einander anhielten.

Der Ausdehnung nach erstrecken sich die Erdbeben bisweilen auf überaus große Flächen; denn während das Erdbeben von 1783 in Calabrien sich nach Torcia von dem Städtchen Oppido aus nur 5 deutsche Meilen in die Runde verbreitete, also über eine Fläche von etwa 80 Quadratmeilen, reichte das, welches am 1. November 1755 Lissabon großentheils zerstörte und allerdings, so weit die Geschichte reicht, das heftigste gewesen ist, welches Europa getroffen hat, bis in eine Entfernung von 1000 Meilen, und machte einen Erdraum beben, welcher 700000 geogr. Quadratmeilen umfaßte, also 4 mal größer war als die Oberfläche von Europa oder mehr als den zwölften Theil der ganzen Erdoberfläche betrug. Nicht nur die ganze pyrenäische Halbinsel und Frankreich wurde heimgesucht, ostwärts reichte es über die Schweiz, weit nach Deutschland hinein, bis Schweden und Norwegen, südlich wurde in Afrika Tetuan, Sallee, Fez, Marokko betroffen, nach Westen erstreckte sich die Erschütterung über den ganzen atlantischen Ocean bis zu den Antillen, selbst auf dem Festlande Amerikas, z. B. auf dem canadischen See Ontario wurde sie verspürt, auch im Norden blieben Grönland und Island nicht verschont.

Man hat die Frage aufgeworfen, ob die Erdbeben nicht abhängig wären von der Jahreszeit. Am ausgedehntesten ist die Untersuchung in Beziehung auf Basel von Merion geführt, welcher alle seit dem elften Jahrhundert dort bekannt gewordenen Erdbeben zusammengestellt hat, und außerdem besitzen wir eine 10 Jahre, 1821 bis 1830, umfassende Arbeit von v. Hoff. Hiernach stellt sich das Resultat folgendermaßen heraus:

Erdbeben in

	der nördlichen Halbkugel	der südlichen Halbkugel	Basel
Januar . .	31	2	12
Februar . .	36	—	14
März . .	31	1	6
April . .	29	1	5
Mai . . .	33	3	11
Juni . .	33	1	3
Juli . . .	20	3	7
August . .	31	2	8
September .	24	3	12
October . .	41	2	11
November .	26	1	14
December .	34	1	15
Jahr. . .	369	20	118

Ordnen wir diese Resultate nach den Jahreszeiten und rechnen für die nördliche Halbkugel December, Januar und Februar als Winter, für die südliche Juni, Juli und August, so erhalten wir:

Erdbeben in

	der nördlichen Halbkugel	der südlichen Halbkugel	Basel
im Winter . .	101	6	41
» Frühling .	93	6	22
» Sommer .	84	3	18
» Herbst . .	91	5	37

Es ergiebt sich hiernach für Basel, daß im Winter und Herbst die Erdbeben in größerer Zahl vorgekommen sind. Scheint auch im Allgemeinen für den Winter sich das Eintreten der Erdbeben vorzugsweise herauszustellen; so ist auf diese Zahlen doch noch kein großes Gewicht zu legen und können die bisher angestellten Untersuchungen noch nicht schlußreif erklärt werden. Im Allgemeinen stellt es sich heraus, daß die Erdbeben so häufig sind, daß die Annahme nicht zu gewagt erscheinen dürfte, der Boden der Erde erzittere stets irgendwo. Um einen Begriff von der Menge der Erdbeben zu geben, führen wir diejenigen an, welche vom Jahre 1829 von v. Hoff *) zusammengestellt hat:

*) v. Hoff, Geschichte der durch Ueberlieferungen nachgewiesenen Veränderungen der Erdoberfläche. Gotha 1822; wozu als vierter Theil 1841 erschienen ist: Chronik der Erdbeben und vulkanischen Ausbrüche.

Anfang Januars wurde zu Portsmuth im nordamerikanischen Staate New-York ein leichter Erdstoß empfunden; den 4. Januar war ein Erdbeben zu Macassar; während des ganzen Monats waren fast tägliche Erderschütterungen zu Alt-Schamachi (Georgien). Aus Patras (Griechenland) wird vom 8. Februar berichtet, daß man schon seit Wochen täglich Erdstöße empfände; den 21. und die Nacht zum 22. Februar richtete eine Erderschütterung in Island großen Schaden an. Den 8. März war ein Erdstoß in Sibirien, den man auf eine Länge von 100 geographische Meilen empfand. In der Festung Tunka, südlich vom Baikalsee sollen die Erschütterungen 3 Minuten gedauert haben, ein ungeheurer Felsen stürzte zusammen, an vielen Stellen öffnete sich die Erde, das Eis auf dem Flusse und dem See ging aus einander, es folgten Erdschwankungen vom 8. bis 22. März mehremal des Tages. Den 18. bis 19. März ein heftiges Erdbeben zu Malung in Schweden; den 21. März Erdbeben auf Jamaica; vom 21. März an waren in Spanien zwischen Murcia und der Meeresküste mehrere Monate hindurch wiederholte Erdbeben, v. Hoff führt 24 Orte an, welche mehr oder weniger litten. Am 21. März empfand man gleichzeitig eine Erdschwankung in Madrid, auch in Peas de Segura und in la Mancha wurde das Erdbeben empfunden. Im Meere nordöstlich von Torreviejo und südöstlich vom Vorgebirge Palos fanden mehrere Erderschütterungen statt, ein Schiff erhielt einen so heftigen Stoß, daß man es gestrandet glaubte. Den 22 März zwei starke Erdstöße zu Ancona; den 31. zwei starke Erdstöße zu Jamaica; den 2. April Erderschütterungen bei Dieppe; den 7. ein Erdstoß zu Petropaulosk in Sibirien; den 10. Erdbeben zu Ponferradá (Leon, Spanien); den 13. Erdbeben, die von der Insel Thassio der macedonischen Küste gegenüber durch einen Theil von Macedonien bis Adrianopel empfunden wurden; außer anderen Verwüstungen wird erwähnt, daß das Dorf Xanthy fast mit allen Bewohnern von der Erde verschlungen worden sei. Den 23. April ziemlich heftige Erderschütterungen zu Freiburg in Baden und zu Münsterthal bei Staufen. Zu Jakson im nordamerikanischen Staate Tenneßé wurden im April Erderschütterungen empfunden, am 4. Mai Erdstöße in der Gegend von Valladolid; den 5. Mai wieder Erdstöße an den macedon. und thracisch. Küsten, die von Salonichi bis Constantinopel sogar in Buchareſt empfunden wurden; den 13. Mai Erderschütterung zu Petropaulosk in Sibirien; den 19. ein Erdstoß zu Merico; den 21. und die folgenden Tage 16 Erdstöße im Kirchenstaate; den 22. ein Erdstoß zu Gräz; den 23. zwei Erdstöße in der Gegend von Constantinopel und Skutari; den 29. Erdstoß zu Jamaica; den 1. Juni und die vorhergehenden Tage Erderschütterungen bei Albano (auch in Bonn wurde eine Bebung der Erde wahrgenommen); den 2. Juni 3 Erdstöße auf der Schneekoppe im Riesengebirge, nachdem vorher das Mineralwasser zu Warmbrunn wolkig und blau geworden; bis zum 17. schon seit einem Monat Erdbeben in Meriko; den 1. Juli Erdbeben in Ungarn, an welchem die Thiere große Unruhe zeigten; den 7. August Erderschütterungen im Elsaß; den 17. ein Erdstoß in Kopenhagen, Gothenburg und anderen Orten; den 20. zwei leichte Erdstöße in Jamaica; den 31. August bis 1. September Erderschütterungen im Wologdaschen und Archangelschen Gouvernement; den 6. Erdbeben zu Cremona; den 26. September ein Erdstoß zu Chili; den 5. October ein Erdbeben in Steiermark; den 12. im Canton Bern; den 20. in Granada. Den 26. November Erdbeben von Siebenbürgen bis nach Kiew, welches großen Schaden anrichtete; den 27. November Erd-

erschütterungen im Departement Charente (Frankreich), auch im Kirchenstaate empfand man in diesem Monate Erderschütterungen; den 30. Erdstoß zu Inspruck. Den 6. December Erdbeben bei la Rochelle im Departement Charente; den 22. eine Erderschütterung im Departement de l'Ain. Auch in Siebenbürgen wurde im December eine Erderschütterung bemerkt. Fast das ganze Jahr wiederholten sich die Erderschütterungen in der Gegend von Murcia.

Aus dieser Uebersicht geht zugleich hervor, daß die Erdbeben allgemein verbreitet sind und daher wohl von keiner Gegend der Erde behauptet werden kann, sie könne ihnen nicht ausgesetzt sein. Zwar scheint es, als ob sich die Bebungen der Erde in der Mitte zwischen Vulkanen oder in den sie umgebenden Lande besonders häufig ereigneten, da sie vulkanischen Ausbrüchen in der Regel voranzugehen pflegen; doch setzen auch umgekehrt nicht selten diese Ausbrüche den Erdbeben ein Ziel, besonders in Landstrichen, welche oft durch dergleichen heimgesucht werden. Die geognostische Beschaffenheit des Landes ist nicht maßgebend; denn nicht blos im Granit und Glimmerschiefer, im Flötzkalk und Sandstein, im Trachyt und Mandelstein &c. kommen sie vor, sondern auch in den lockersten Alluvialschichten, wofür beispielsweise das Erdbeben am 23. Februar 1828 spricht, welches um Middelburg und Vliessingen in Holland sich einstellte. Vorzugsweise werden folgende Gegenden der Erde durch Erdbeben heimgesucht: Island; die Nordküste des mittelländischen Meeres; die Nordküste von Afrika von Marokko bis Tripolis; eine mit dieser fast parallele Linie von den Pyrenäen längs der Alpen bis nach Constantinopel, längs der Nordküste von Kleinasien zum Caucasus; das mittlere Kleinasien; eine Linie vom caspischen Meere durch den Altai bis Irkutzk; eine Linie vom todten Meere südlich vom caspischen Meere durch Iran, den Muztag und Thian-Chan bis China, die Länder vom Südabhange des Himalaja; eine Linie von den Andamanen durch Sumatra, Java, Gilolo, die Philippinen, Japan, die Kurilen, über die Aleuten nach dem nördlichen Festlande von Amerika; in Amerika die Andeskette von Chile durch Guatimala bis Merico; die Antillen, namentlich die kleinen; im großen Ocean eine mit den Molukken beginnende Reihe, welche von hier durch Neu-Guinea, Neu-Brittannien, die Salomonsinseln, die Neuen Hebriden bis nach Neu-Seeland fortläuft; endlich die isolirte Inselgruppe der Marianen und die Sandwichinseln.

Mit den Erscheinungen in der Atmosphäre der Erde stehen die Erdbeben in gar keinem näheren Zusammenhange, obgleich sie, wie natürlich, zuweilen mit dergleichen außerordentlichen Erscheinungen zusammentreffen können. Wo die Erdbeben verhältnißmäßig seltener sind, ist der Glaube sehr verbreitet, daß Windstille, drückende Hitze, ein dunstiger Horizont immer Vorboten derselben seien. Das Irrthümliche dieses Volksglaubens ist, wie Alex. v. Humboldt *) sagt, nicht blos durch seine eigene Erfahrung widerlegt; es ist auch durch das Resultat aller derer, welche viele Jahre in Gegenden gelebt haben, wo, wie in Cumana, Quito, Peru und Chili der Boden häufig und gewaltsam erbebt. A. v. Humboldt hat Erdstöße gefühlt bei heiterer Luft und frischem Ostwinde, wie bei Regen und Donnerwetter. Sie ereignen sich ebensowohl beim höchsten, wie beim niedrigsten Barometer- und Thermometerstande; es tritt zwischen den Wende-

*) Kosmos. Bd. I. S. 213.

kreisen, wo der Gang des Barometers ein so regelmäßiger ist, keine Störung der Regelmäßigkeit im Luftdrucke ein; ebenso wenig hat v. Humboldt eine solche in der Abweichung der Magnetnadel beobachtet. Ein Gleiches hat Adolph Ermann den 8. März 1829 bei einem Erdbeben in Irkutzk nahe am Baikalsee gefunden. Dasselbe bestätigen auch langjährige, in Palermo angestellte Beobachtungen *) über Erdstöße in Beziehung auf ihre Richtung, die Vertheilung derselben nach den Jahreszeiten und ihren Einfluß auf den Stand des Barometers. Daher giebt es gar keine Anzeichen und Vorzeichen der Erderschütterungen, welche aus meterrologischen Erscheinungen herzunehmen wären.

Dagegen giebt es allerdings andere Vorzeichen der Erdbeben, die aber auch nur in gewissen Fällen eintreten und welche ihren Grund in denselben vulkanischen Vorgängen im Innern haben, durch welche die Erdbeben selbst erzeugt werden. So versiegen bisweilen vor einem Erdbeben die Quellen der Brunnen, so daß die Stangen und Ketten an den Eimern verlängert werden müssen, um das Wasser zu erreichen, oder es trüben sich die Quellen, auch entstehen wohl ungewöhnliche Bewegungen des Meeres. In sofern diese Erscheinungen auch aus andern Gründen erfolgen können, als diejenigen sind, welche dem Erdbeben zu Grunde liegen, sind sie nicht als sichere Vorboten eines Erdbebens anzusehen. Mehr Anspruch auf den Charakter eines sicheren Vorzeichens gebührt denjenigen Erscheinungen, welche wenigstens stets Vorgänge vulkanischer Art im Innern der Erde bekunden. Dergleichen sind: das Aufsteigen mephitischer Gasarten an der Erdoberfläche, das Hervorbrechen von Flammen aus der Erde und aus dem Meere und namentlich plötzliche Unterbrechung des aus den Vulkanen aufsteigenden Rauchs, so wie alle diejenigen Erscheinungen an Vulkanen, welche Ausbrüchen derselben vorherzugehen pflegen. Recht schlagend spricht hierfür, daß in derselben Stunde, in welcher zu Lissabon am 1. November 1755 der erste Stoß erfolgte, die Dampfwolke des Vesuvs in den Krater hineinschlug; ähnlich war es bei dem Erdbeben zu Riobamba 1797 mit dem in einer Entfernung von 65 Meilen nördlich davon liegenden Vulkane von Pasto. — Häufig treten die Erdbeben auch ohne auffallende Erscheinungen an den in der Nähe befindlichen Vulkanen auf, wie denn ausdrücklich erwähnt wird, daß bei dem Erdbeben, welches vom 26. November bis 22. December 1852 die Banda-Inseln und theilweise Amboina, Ceram, Ternate und die östlich davon liegenden Inseln heimsuchte, und wobei namentlich auf Banda, Neira, Louthoir und Ay die fürchterlichsten Zerstörungen angerichtet wurden, während der ganzen Zeit an den großen Vulkanen auf Banda und Ternate keine außerordentlichen Erscheinungen wahrgenommen worden seien. Daß die Erdbeben sich auch urplötzlich einstellen, dafür giebt der Untergang von Caracas am 26. März 1812 einen Beleg.

Der Himmel war heiter, und in Venezuela war seit 5 Monaten kein Tropfen Regen gefallen, warnende Vorzeichen gingen nicht voraus, sondern ganz unvermuthet erfolgte Abends 4 Uhr 7 Minuten der erste Stoß, durch welchen die Glocken zu läuten anfingen. Sogleich erfolgte ein zweiter, welcher den Boden

*) Fr. Hoffmann in Poggendorff's Ann. der Phys. Bd. XXIV. S. 49. Vergl. auch: Hoffmann, über die Vulkane und die mit ihnen verbundenen Erscheinungen. Hinterlassene Werke. Bd. II. S. 271—596.

wellenförmig bewegte, bald darauf ein unterirdisches Getöße und dann wieder eine senkrechte, bald in eine wellenförmige übergehende Erschütterung, welcher nichts zu widerstehen vermochte. Anstatt sofort das Freie zu suchen, war das Volk augenblicklich in die Kirchen geströmt, wohin man noch obendrein eine Procession anordnete, als schon die Menge der dort versammelten Menschen unter den Ruinen begraben wurde. Zwei Kirchen nämlich, der Trinida und der Alta Gracia von mehr als 150 Fuß Höhe und durch 12 bis 15 Fuß dicke Pfeiler gestützt, stürzten in Schutthaufen von 6 Fuß Höhe, größtentheils in Staub zermalmt zusammen. Die Caserne El Quartel verschwand fast ganz, und ein darin aufgestelltes Regiment, welches zur Procession gehen sollte, verschwand bis auf Wenige noch zugleich mit. Neun Zehntel der Stadt waren gänzlich zerstört, und die meisten übrig gebliebenen Häuser waren unbewohnbar. Man berechnet die Zahl der Erschlagenen auf nahe 10000, diejenigen ungerechnet, welche durch Verstümmelung und Mangel an Nahrung nachher umkamen. Als die Staubwolke sich gelegt hatte, folgte eine heitere Nacht, welche mit der Zerstörung der Erde und den mit Leichen bedeckten Trümmern einen furchtbaren Kontrast bildete. Die Dauer der eigentlichen Stöße wird von einigen zu 50 Minuten, von anderen 1 Min. 12 Sec. angegeben. Die Erderschütterungen verbreiteten sich auch über die Provinz Venezuela, Varinas, Maracaibo und die Gebirge im Innern des Landes. La Guayra, Mayquetia, Antimano, Baruta, La Vega, S. Felipe und Merida wurden fast ganz zerstört. In Guayra und Felipe betrug die Zahl der Erschlagenen gegen 5000. Das Erdbeben schien in einer Linie von ONO. nach WSW. von Guayra und Caracas nach den Bergen von Niquitao und Merida am heftigsten gewesen zu sein, erstreckte sich über eine Länge von 180 französische Meilen von Caracas bis an den Magdalenenfluß, und war stärker auf den Gneiß- und Glimmerschiefer-Cordilleren als in den Ebenen. Zu Valecillo bei Valencia warf die zerrissene Erde so viel Wasser aus, daß sich ein Strom daraus bildete, und ebenso bei Porto Cabello; dagegen wurde der Spiegel des Sees von Maracaibo vermindert. Alle seitwärts vom eigentlichen Zuge gelegenen Gegenden, namentlich die sonst so gefährlichen Küsten von Araya, Cumana und Nueva Barcellona litten nichts.

In dieser Schilderung des Erdbebens von Caracas erhalten wir zugleich ein Bild von den furchtbaren Zerstörungen, welche heftige Erdbeben in ihren Gefolge zu haben pflegen. Da man sich jetzt noch, allerdings weniger als früher, bei einem eintretenden Erdbeben die Schilderungen der angerichteten Verheerungen besonders angelegen sein läßt, so können dieselben als bekannt vorausgesetzt werden, und hier wird es genügen das Charakteristische hervorzuheben.

Nach Maßgabe der Heftigkeit der Erschütterungen sind die Erdbeben, wie die vulkanischen Eruptionen gewöhnlich von einem unterirdischen Getöse begleitet, welches mit der Abfeuerung schweren Geschützes, oder dem rollenden Donner von Musketen-Salven, oder dem Rasseln schwer beladener Wagen oder mit dem Klirren bewegter Ketten verglichen wird. Es pflanzt sich dies Getöse in unermeßliche Weiten fort. Alex. v. Humboldt *) erzählt: „In Caracas, in den Grasfluren von Calabozo und an den Ufern des Rio Apure, welcher in den Orinoco fällt, in einer Landstrecke von 2300 Quadratmeilen, hörte man überall am

*) Kosmos. Bd. I. S. 215.

30. April 1812, ohne alles Erdbeben, ein ungeheures donnerartiges Getöse, als 158 Meilen davon, in Nordosten, der Vulkan von St. Vincent in den kleinen Antillen „Morne Garou" aus seinem Krater einen mächtigen Lavastrom ergoß. Es war also der Entfernung nach, als wenn man einen Ausbruch des Vesuvs im nördlichen Frankreich vernähme." Hieraus wird klar, daß der Schall nicht sowohl durch die Luft, als vielmehr durch die Erde aus großer Tiefe fortschreitet, wozu das bessere Schallleitungsvermögen der festen Körper das Seinige beiträgt. Man hat eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 5 bis 7 Meilen in einer Minute berechnet.

Leichtere verticale und wellenförmige Erschütterungen sind verbunden mit einem Krachen in den Gebäuden, Verschieben leichter Gegenstände, Schwanken leicht beweglicher Körper. Sind die Stöße heftiger, so treten großartige Zerstörungen an Gebäuden ein, wodurch die Bewohner in Gefahr gerathen, um so mehr je massiver das Gebäude aufgeführt ist; die Erde bekommt Spalten, Berge versinken, niedere Gegenden werden gehoben, der Lauf der Flüsse wird gestört, häufig werden Ueberschwemmungen veranlaßt und Seen erzeugt &c. — Bei dem Erdbeben 1693 in Sicilien sollen 60000, und bei dem von Riobamba 1797 30 bis 40000 Menschen in wenigen Secunden oder Minuten umgekommen sein. 1772 stürzte auf Java der Vulkan Papandayang in sich zusammen, und hierbei versank eine Fläche von 90 englischen Quadratmeilen und eine Berghöhe erniedrigte sich von 9000 auf 5000. Die heftigsten Stöße verursachen nicht immer den meisten Schaden an Gebäuden, und man glaubt, daß es weniger auf die Länge oder Kürze der Wellen, die Langsamkeit oder Schnelligkeit der horizontalen Schwingungen ankomme, als auf die Gleichmäßigkeit der Bewegung in entgegengesetzter Richtung *). Die Stöße nehmen an Stärke zu oder ab, oft sind sie aber auch von ziemlich gleicher Heftigkeit, bald mehr, bald weniger schnell. Während der Erdstöße werden oft heißes Wasser, heiße Dämpfe, Schlamm, schwarzer Rauch und selbst Flammen ausgestoßen, wobei der Rauch um so dicker aufzusteigen pflegt, je mehr das unterirdische Getöse zunimmt. Daß plötzliche Veränderungen der Witterung durch dergleichen Ausströmungen eintreten können, ist an sich klar. In den tropischen Gegenden stellt sich nach einem Erdbeben oft plötzlich die Regenzeit ein, wenn auch nach den sonstigen Verhältnissen noch nicht die Zeit dazu ist, und so erzählt Alex. v. Humboldt, daß in den Gegenden des tropischen Amerika, wo bisweilen in 10 Monaten kein Tropfen Regen fällt, die Eingebornen sich oft wiederholende Erdstöße, welche den niedrigen Erdhütten keine Gefahr bringen, für glückliche Vorboten der Fruchtbarkeit und der Regenmenge halten **). Das Aufsteigen mephitischer Gasarten wird unmittelbar weniger von den Menschen, als von den Thieren empfunden, weil diese schärfere Sinne und das Haupt gegen die Erde geneigt haben. Es ist dies also weniger ein Vorzeichen des Erdbebens, wenn die Thiere in eine gewisse Angst gerathen, welche sich durch Unruhe und Geheul zu erkennen giebt, sondern ein Beweis von schon eingetretener Wirkung. Die Maulwürfe und Mäuse kommen aus ihren Löchern hervor, das Wild aus dem Walde, die Vögel fliegen unruhig umher und dergleichen. Nach v. Humboldt

*) Kosmos. Bd. I. S. 212.
**) Kosmos. Bd. I. S. 221.

sind die Schweine und Hunde besonders erregbar, sogar die Crocodile im Orinoco, die sonst so stumm sind, sollen nach ihm den erschütterten Boden des Flusses verlassen und brüllend dem Walde zulaufen. Endlich ist noch die Wirkung auf den Menschen hervorzuheben. Personen, welche mit der Erscheinung nicht vertraut sind, stehen unsicher und werden vom Schwindel ergriffen. Alex. v. Humboldt hat wohl nicht ganz Unrecht, wenn er diese Zufälle in der Enttäuschung von dem angebornen Glauben an die Ruhe und die Unbeweglichkeit des Starren, der festen Erdschicht findet; die Angst der Menschen wird aber noch vermehrt, weil sie sich das Erdbeben als etwas Allgegenwärtiges, Unbegrenztes darstellen, dem sie nicht entrinnen können, wie so manchen anderen Gefahren, welche ihrem Leben drohen. Daß diese Erscheinungen an Menschen und Thieren durch eine mehr oder minder beträchtliche Aenderung des Zustandes der Luft-Elektricität hervorgerufen werde, wie v. Leonhard *) vermuthet, scheint mehr als fraglich.

Die Erschütterungen, welche ein Erdbeben auf einem in See befindlichen Schiffe bewirkt, werden von den Seeleuten mit dem Auffahren des Schiffes auf ein Felsenriff verglichen.

Was die Ursache der Erdbeben betrifft, so ist sie dieselbe, welche die Wirksamkeit der Vulkane bedingt. Als antiquirt ist jetzt die Ansicht von W. Stukeley **) zu betrachten, daß die Erdbeben erzeugt würden durch eine hohe Spannung der Elektricität; in gleicher Weise die des Beccaria ***), welcher glaubte, daß eine Anhäufung der Elektricität in der Erdrinde Erschütterungsschläge gegen die Wolken verursache, welche sich dann als Erdbeben zeigten. Ebenso kann man Boussingault ****) unmöglich beistimmen, welcher die Erdbeben Amerikas von den theilweisen Einsenkungen gegen die inneren Höhlen und den damit verbundenen Reibungen und Erschütterungen ableitet, weil unter diesen Erdbeben die ausgedehntesten und verherendsten gerade nicht mit Vulkan-Ausbrüchen zusammenzufallen pflegten, und weil die Niedersenkungen um so häufiger sein müßten, je neueren Ursprungs die Hebungen seien, welche die Gebirge hervorgerufen hätten. Giebt man auch zu, daß die Gebirge Amerikas jüngeren Alters sind, als die der alten Welt; so macht es die allgemeine Verbreitung der Erdbeben auch außerhalb Amerikas doch höchst unwahrscheinlich, daß die Ursache nur in localen Verhältnissen zu suchen sei. Alex. v. Humboldt, der zuerst die Wirkung des Feuers auf unserer Erde im Großen und mit durchdringendem Blicke betrachtete, beobachtete den häufigen Zusammenhang der Erdbeben mit den vulkanischen Erscheinungen selbst in oft sehr entfernten Gegenden der Erdfläche, und zeigte uns dadurch, wie tief der eigentliche Sitz dieser Bebungen der Erde liegen muß. Die eigentliche Ursache finden wir also, wie schon im Eingange dieses Artikels gesagt ist, in einer Reaction des Erdinnern gegen das Aeußere, indem die bei erhöhter Temperatur der tiefsten geschmolzenen Schichten in den Höhlungen und Klüftungen der inneren Seite der festen Erdrinde sich ansammelnden Expansibilien (Gase und

*) V. Leonhard, Lehrbuch der Geognosie und Geologie. Stuttgart 1835. S. 727.

**) Phil. Transact. Vol. XLVI. No. 497.

***) Lettere dell' elettricismo. Bologna 1758.

****) Schumacher's astronom. Jahrb. 1838. S. 712.

Dämpfe) sich weiter zu verbreiten streben, wozu denselben zwar an vielen Stellen die Vulkane, wie Sicherheitsventile eines Dampfkessels, Gelegenheit bieten, während ihnen jedoch an weit mehr Stellen der Austritt versperrt ist. Wegen der Ausführung dieser Ansicht muß mit Rücksicht auf den innigen Zusammenhang zwischen Erdbeben und Vulkanen auf den Artikel Vulkan verwiesen werden; an dieser Stelle mögen nur noch einige Hindeutungen auf Einzelheiten Platz finden.

Daß die Erdbeben in der Nähe noch brennender Vulkane nicht gerade die schlimmsten sind, wenn auch die häufigsten, ergiebt sich aus dieser Ansicht ohne Weiteres. — Ungeachtet die Erdbeben sich als Wirkungen sehr mächtiger Kräfte herausstellen, so daß auch die gelindesten unter ihnen einen gewaltsamen Charakter haben müssen, giebt es doch eine Ausnahme, allerdings die einzige bekannte, so weit derartige Erscheinungen beobachtet worden sind, nämlich die Hebung von Schweden von Frederiksball bis Abo an der Vorspitze des bothnischen Meerbusens. Es erscheint diese Hebung als eine Ausnahme, weil wir zu dieser Erklärung annehmen müssen, daß dieselbe Kraft, welche in den Erdbeben thätig ist, hier täglich und immer fort wirke, ohne von den unheilvollen Wirkungen begleitet zu sein, welche wir sonst in ihrem Gefolge finden. — Die Häufigkeit der Erdbeben hat ihren Grund in der fortwährend stattfindenden Spannung der im Innern der Erde eingeschlossenen Expansibilien; die allgemeine Verbreitung in der im ganzen Erdinnern thätigen Ursache. Die Unabhängigkeit der Erdbeben von der Natur der Gebirgsarten ergiebt sich aber hieraus von selbst; denn es kommt hier nicht auf die chemische Natur der Erdrinde, sondern mehr auf die mechanische Structur an, von welcher die Fortpflanzung der Bewegung, das Fortschreiten der Erschütterungswelle modificirt wird. Da dies Fortschreiten der Erschütterung außerdem bedingt wird durch die Gestaltung der Innenfläche der Erdrinde, so ergiebt sich hieraus, daß die Wellenbewegung auf dem einmal betretenen Wege sich wiederholen kann, daß aber auch, wenn in der Gestaltung Veränderungen eintreten, eine Abänderung des Erschütterungskreises möglich wird. Da wir die Ursache tief im Innern der Erde zu suchen haben, so erklärt sich, daß man in der Atmosphäre keine Vorzeichen erwarten darf; ebenso erhellt aber auch, daß umgekehrt der Atmosphäre bei heftigen Erschütterungen etwas mitgetheilt werden könne, wohin namentlich auch eine Veränderung in der elektrischen Spannung zu rechnen sein möchte. H. E.

Erdbebenmesser. Seismometer oder Seismoskop (von σεισμός, Erschütterung). Für Gegenden, in welchen Erdbeben häufiger einzutreten pflegen, hat man auf Vorrichtungen gedacht, durch welche man namentlich einen sicheren Anhalt über die Richtung gewinnen könnte, in welcher die Bewegung fortgeschritten ist. Salsano hat ein langes, schweres nach allen Richtungen bewegbares Pendel dazu angewendet, welches entweder mit einem Farbenpinsel an seinem unteren Ende die Richtung des Stoßes auf einer Unterlage abzeichnet, oder dieselbe in eine Sandschüssel einschreibt. Da eine derartige Vorrichtung auch für schwächere Bewegungen empfindlich sein muß, so ist von Cacciatore noch eine andere in Vorschlag gebracht worden, welche ihrer größeren Empfindlichkeit wegen zweckmäßiger zu sein scheint. Ein flaches, ebenes Becken von Holz, wie man es zur Erzielung eines künstlichen Horizontes zu benutzen pflegt, aber kreisrund und von

etwa 10 Zoll Durchmesser enthält in seinem Rande 8 gleichweit von einander abstehende, den 8 Haupthimmelsgegenden entsprechende Oeffnungen. Unter jeder mit einer Rinne versehenen Oeffnung steht ein Becher, und da bei eintretendem Stoße das Quecksilber überläuft, so erkennt man aus dem Becher, in welchen dasselbe geflossen ist, aus welcher Richtung der Stoß erfolgte. Der Stoß nämlich kam von der dem Becher entgegengesetzten Seite der Scheibe her. H. E.

Erdbeschreibung, s. Geographie.

Erddurchmesser, s. Erde.

Erde, Erdball, Erdkugel, der von uns bewohnte Erdkörper, welcher ein Planat ist und wie die übrigen uns bekannten Planeten in einer nahe kreisförmigen Bahn um die Sonne sich herum bewegt.

Dem Augenscheine nach besteht die ganze Welt aus Himmel und Erde. Der Himmel scheint mit seinen Gestirnen um die Erde sich herum zu bewegen und die Erde scheint, abgesehen von ihren im Verhältniß zur ganzen Ausbreitung derselben nur geringen Erhöhungen, eine horizontale Fläche zu sein. Es hat eine sehr lange Reihe von Jahren und eine große wissenschaftliche Bildung dazu gehört, ehe die Menschen zu der Erkenntniß gekommen sind, daß, was so der Augenschein lehrt, eben nur Schein nicht Wirklichkeit sei, daß die Erde einer der kleinsten kugelförmigen Weltkörper sei und daß der Himmel mit der Mehrzahl seiner Gestirne feststehe, die Erde aber im Weltraume in einer regelmäßigen Bahn um einen der vielen feststehenden Weltkörper sich herum bewege. Jedes Volk der Erde hat nach dem ihm eigenthümlichen Bildungsgrade verschiedene Vorstellungen von der Erde und dem ganzen Weltgebäude sich gemacht.

Am interessantesten sind diejenigen Vorstellungen, welche sich in dieser Beziehung die Griechen machten, von denen alle europäische Bildung ausgegangen ist. In dem Zeitalter Homer's stellten sich die Griechen die Erde als eine Scheibe vor, um welche der Strom Okeanus fließe. Westlich, meinten sie, ströme aus diesem bei den herkulischen Säulen (der Meerenge von Gibraltar) das Mittelmehr ein, östlich bei Kolchis (jetzt Mingrelien) der Phasis. Eine zwischen beiden Einströmungen gedachte Linie theilte die Scheibe in eine südliche und in eine nördliche Hälfte, die Seite des Lichts und die Seite der Finsterniß, Europa, die dunkele und Asia (wozu auch Aegypten gerechnet wurde), die helle. In der Mitte der Scheibe, so glaubten die Griechen, läge Griechenland und in der Mitte von diesem Delphi, wo das von allen Griechen heilig gehaltene Orakel des Apollon war, oder ursprünglich der Olympos, der Berg, auf welchem in frühesten Zeiten die Götter wohnten. Der Okeanos sollte am westlichen Ende der dunklen Erdhälfte aus dem kimmerischen Felsen Leukas entspringen und von da rechts hin mit neun Theilen den Rand der Erde umströmen, während ein zehnter Theil in das Innere der hohlen Erdscheibe sich ergoß und dort als Styx das Todtenreich, das Reich des Aides, umströmte. Nahe bei den Quellen des Okeanos war der Eingang zu diesem Reiche, so wie zu dem Kerker des verstoßenen Riesengeschlechtes der Titanen, der Tartaros. Im Gegensatze zu diesem dachten sich die Griechen am westlichen Ende der lichten Halbscheibe im Okeanos die glückseligen Inseln, das Elysion, wo Lieblinge der Götter wohnten. Ueber der Erdscheibe wölbte sich das eherne Himmelsgewölbe, welches auf Bergsäulen ruhte, im Westen auf dem Atlas,

im Osten auf dem kolchischen Kaukasus. Die Götter wohnten ursprünglich nicht über diesem Himmelsgewölbe, sondern auf dem heiligen Berge Olympos. Aber über dem Olymp befand sich im ehernen Gewölbe eine Oeffnung, welche man erreichte, wenn man die Berge Ossa und Pelion auf den Olymp thürmte. Außerdem hatte das Gewölbe noch zwei Oeffnungen im Osten und im Westen. Täglich trat der Sonnengott Helios durch die östliche Oeffnung aus dem Okeanos, fuhr nahe am Himmelsgewölbe hin und ging durch die westliche Oeffnung wieder in den Okeanos. Ein geflügeltes Schiff trug auf dem Okeanos während der Nacht den Helios wieder nach dem Aufgange zurück. Die Dichter der Griechen bildeten diese und ähnliche Vorstellungen noch weiter aus, und da dieselben mit der Götterlehre der Griechen innig zusammenhingen, so blieben dieselben als der allgemeine Volksglaube, nachdem die wissenschaftlich Gebildeten unter den Griechen schon längst richtigere, aber prosaische Ansichten über das Weltgebäude und die Erde ausgesprochen hatten. So lehrte Thales um 585 v. Chr. Geb., daß der Himmel eine Hohlkugel sei, zur Hälfte mit Wasser gefüllt, in welchem die Erde, eine runde Säule oder Walze, so schwimme, daß die obere (bewohnte) Scheibe hervorrage und rings von demselben als von einem Weltmeere umgeben sei. Aehnliche Vorstellungen hatten andere Philosophen; Parmenides aber und die Pythagoräer lehrten zuerst um 500 v. Chr. Geb., daß die Erde eine Kugel sei. Aristoteles um 330 v. Chr. Geb. führte entscheidende Gründe für die runde Gestalt der Erde an. Aristarch von Samos lehrte auch schon um 240 v. Chr. Geb., daß die Sonne still stehe und die Erde sich um sie bewege.

Dennoch hat es sehr lange gedauert, ehe die Kugelgestalt der Erde allgemein angenommen wurde und noch jetzt fällt es manchen Menschen schwer, diese richtige Vorstellung zu fassen. Ein Beweis, wie lange und wie hartnäckig man an der durch den Augenschein bestätigten Vorstellung von der Oberfläche der Erde mit mißverstandener religiöser Ehrfurcht hing, giebt die geschichtliche Thatsache, daß im 8. Jahrhunderte nach Chr. Geb. der Bischof von Salzburg Virgil, weil er an die Kugelgestalt der Erde glaubte, von dem Papste Zacharias seines Bisthums entsetzt wurde, und daß Gelehrte des Columbus Vorschlage die andere Hälfte der Erde zu beschiffen entgegenstellten, dies ginge nicht an, weil das Schiff in den Weltraum hinunterfallen würde. Naturunkundige Menschen stoßen sich noch jetzt besonders darum an die Kugelgestalt der Erde, weil sie nicht begreifen können, wie die Menschen, welche auf der, der unseren entgegengesetzten, Hälfte der Erdkugel wohnen, also die Füße gegen unsere Füße gekehrt haben, nicht in den Weltraum hinabfallen müßten. Sie begreifen es noch weniger, wenn ihnen gesagt wird, daß wir selbst, da die Erde sich umdrehet, nach 12 Stunden uns in derselben Lage befinden, wie im gegenwärtigen Augenblicke unsere Gegenfüßler. Die scheinbare Schwierigkeit hebt sich aber bald, wenn wir bedenken, daß wir an die Erde überhaupt nur durch die Anziehung, welche ihr Mittelpunkt gegen unseren Körper ausübt, gehalten werden, daß wir gerade aufrecht dann stehen, wenn unser Körper die Fortsetzung der geraden Linie ist, welche vom Mittelpunkte der Erde nach unseren Füßen reicht, und daß wir oben allemal das, was über unserem Haupte ist, nennen; unten das, was unter unseren Füßen ist. Wie sich aber auch die Erde drehet, und wo irgend auf der Erde wir uns befinden, immer bleibt hiernach für uns die Erde unten und der Himmel oben. Warum wir niemals unmittelbar wahrnehmen, daß die ganze Erdoberfläche kugelförmig gebogen sei,

begreifen wir bald, wenn wir bedenken, welch einen geringen Theil der Erde im Verhältniß zu ihrer ganzen Oberfläche wir auch von den höchsten Standpunkten, die wir erreichen können, zu überblicken im Stande sind. Vorausgesetzt, daß gar keine die Aussicht hemmenden Gegenstände vorhanden sind, so ist nach Kries'.s Berechnung das Verhältniß der verschiedenen Höhen in Pariser Fuß zur Weite der Aussicht in geographischen Meilen, wie folgende Tabelle angiebt:

Höhe in Fußen	Weite in Meilen	Höhe in Fußen	Weite in Meilen
100	2,75	4500	18,40
200	3,88	5000	19,40
300	4,75	6000	21,25
400	5,50	7000	22,96
500	6,17	8000	24,50
1000	8,66	9000	26,04
1500	10,62	10000	27,44
2000	12,30	12000	30,06
2500	13,72	14000	32,50
3000	15,04	16000	34,70
3500	16,25	18000	36,80
4000	17,36	20000	38,80

Genauere Ueberlegung einiger allgemein bekannter Erscheinungen läßt indeß bald einsehen, wie die Erde unmöglich eine gerade fortlaufende Fläche sein könne, und wie sie vielmehr nothwendig eine Kugel sein müsse. Denken wir uns nämlich einen auf einer Kugel stehenden Menschen und überlegen, welch einen Theil der Kugel derselbe wohl zu übersehen im Stande sein möchte, so bemerken wir, daß er nur diejenigen Theile von der Kugel wird übersehen können, nach denen hin gerade Linien von seinem Auge gezogen werden können. Die von seinem Standpunkte entferntesten Punkte der Kugel, welche jeder Mensch noch wird sehen können, werden diejenigen sein, in welchen die von seinem Auge aus gezogenen Tangenten an die Kugel diese berühren. Diese äußersten Grenzpunkte liegen nach allen Seiten von dem Auge des Beobachters rings um die Kugel herum, und zwar in gleichen Abständen von seinem Auge; der Mensch auf der Kugel übersieht also einen kreisförmigen Kugelabschnitt. Wenn man ferner sich von dem Auge des, in einiger Entfernung von der Oberfläche der Kugel sich befindenden, Beobachters nach allen Seiten zu Strahlen ausgehen denkt und überlegt, welche von diesen Strahlen die Kugelfläche treffen, so machen diese Strahlen zusammen einen Kegel aus, dessen Spitze im Auge des Beobachters, dessen Grundfläche ein kreisförmiger Abschnitt der Kugel ist. Stellen wir uns jetzt einen auf einer weithin ausgedehnten Ebene stehenden Menschen vor, so also, daß sein Auge sich in einiger Entfernung über der Ebene befindet, so lehrt eine der eben angestellten ähnliche Betrachtung, daß dieser Mensch die ganze Ebene zu überschauen im Stande sein muß, wo nicht etwa zufällige Erhöhungen auf der Ebene die Aussicht beschränken. Vergleichen wir mit diesen beiden Fällen die Art und Weise, wie sich unseren Augen die Erde darstellt, so finden wir, daß auch in denjenigen Fällen, wo keine Unebenheiten

der Erdoberfläche die Aussicht beschränken, auf weit ausgedehnten Ebenen, auf dem Meere, auf hohen Bergen und dergleichen dennoch überall die Aussicht eine begrenzte ist, und zwar übersehen wir stets in diesen Fällen einen kreisförmigen Theil der Erdoberfläche, in oder vielmehr senkrecht über dessen Mittelpunkte wir uns befinden. Diese Erscheinung findet auf allen Punkten der Erde statt, von welchen aus man eine unbeschränkte Aussicht hat: der Beobachter auf der Erde verhält sich demnach ganz so, wie der Beobachter auf einer Kugel. Wäre die Erde eine Kreisebene, so würde man zwar auch von dem Mittelpunkte dieser Ebene aus einen Kreis, aber in der That auch die ganze Scheibe überschauen, welches bekanntlich nicht der Fall ist.

Die Krümmung der Erdoberfläche tritt noch auffälliger hervor, wenn man beobachtet, wie Gegenstände, denen wir uns nähern oder die sich uns nähern, allmälig sichtbar werden. Man sieht nämlich niemals auf einmal den ganzen sich nähernden Gegenstand, sondern stets zuerst nur die oberste Spitze desselben, und von dieser ab kommen dann bei immer größerer Annäherung mehr und mehr die unteren Theile des Gegenstandes zum Vorschein. Am auffälligsten zeigt sich dieses auf dem Meere, weil hier gar keine bedeutenden unregelmäßigen Erhöhungen der Kugelfläche stattfinden. Die sich nähernden Schiffe tauchen gleichsam aus dem Meere auf, indem man erst die Gipfel der Masten, dann die Masten mit den Segeln, und zuletzt erst das ganze Schiff bei zunehmender Annäherung erblickt. Das Entgegengesetzte findet statt, wenn sich ein Gegenstand von uns entfernt, so z. B. bei einem Schiffe wird zuerst der Rumpf des Schiffes, dann werden die Masten mit den Segeln, und endlich erst die Spitzen der Masten uns entzogen. Die Seefahrer sehen von den Küsten zuerst die Spitzen der höchsten Gebirge und dann nach und nach, je näher sie den Küsten kommen, mehr und mehr von den tiefer liegenden, auf den Küsten befindlichen, Gegenständen und die Küsten selbst. Aehnliches können auch Reisende auf dem flachen Lande beobachten.

Wenn die Erdoberfläche eine Ebene wäre, so müßte ferner die Sonne für alle Erdbewohner zu gleicher Zeit aufgehen, wenigstens überall gleichzeitig, wo nicht die Aussicht durch Berge unterbrochen ist. Bekanntlich geht aber die Sonne desto später für einen Ort auf und desto später für ihn unter, je weiter er gegen Westen liegt. Dieses ist nur dann möglich, wenn die Erdoberfläche in der Richtung von Osten nach Westen gekrümmt ist. Daß eine ähnliche Krümmung der Erdoberfläche aber auch in der Richtung von Norden nach Süden stattfindet, lehrt eine ähnliche Betrachtung. Je weiter wir nämlich nach Süden reisen, desto mehr Sterne erheben sich über den südlichen Horizont, welche von den weiter gegen Norden wohnenden Menschen niemals gesehen werden. Dagegen senken sich die Sterne im Norden gegen den nördlichen Horizont, und immer mehr derselben entziehen sich unserem Gesichtskreise. Die Portugiesen versuchten zuerst im 15. Jahrhunderte das Südende von Afrika zu erreichen, um zur See nach Ostindien gelangen zu können. Da bemerkten sie denn, wie, je weiter sie nach Süden segelten, der Polarstern und die ihn umgebenden Sterne immer tiefer herabsanken, endlich ersterer sogar verschwand. Dagegen erhoben sich am südlichen Horizonte früher von ihnen nie gesehene Sterne, von denen einige, wie in Europa die Sterne um den Nordpol, keinen Auf- und Untergang mehr zeigten. Es waren die Sterne um den Südpol des Himmels. Die Sonne, welche wir stets mehr oder weniger

gegen Süden sehen, sahen diese Portugiesen erst gerade über ihren Köpfen, in welchem Falle gar kein Schatten wahrzunehmen war, dann sahen sie dieselbe sogar gegen Norden, wobei Mittags der Schatten, der in Europa überall nach Norden zufällt, nach Süden fiel. Wäre die Erde eine ebene Fläche, so müßte man an der Südspitze von Afrika z. B. den Polarstern noch eben so hoch über dem nördlichen Horizont erblicken, wie bei uns in Europa.

Ein anderer Beweis für die Kugelgestalt der Erde liegt darin, daß ihr Schatten, welcher bei Mondfinsternissen einen Theil der erleuchteten Mondscheibe verdunkelt, stets rund erscheint. Aber nur ein kugelförmiger Körper wirft unter allen Bedingungen einen rundbegrenzten Schatten. Wäre die Erde eine runde Scheibe, so würde sie zwar in vielen Fällen auch einen rundbegrenzten Schatten werfen, es könnte aber auch zuweilen der Fall eintreten, daß ihr Schatten sich als eine gerade Linie darstellte; wäre sie ein Cylinder, so würde sie zuweilen einen geradlinig begrenzten Schatten zeigen &c.

Den unumstößlichsten Beweis für die Kugelgestalt der Erde geben endlich diejenigen Reisen, welche rund um die Erde angestellt worden sind und zwar in verschiedenen Richtungen; die Reisenden sind stets auf der entgegengesetzten Seite, von welcher sie abgereist, wieder zurückgekehrt. Dabei sind sie nirgends auf eine Abkantung oder auf eine Ecke gekommen, was doch hätte geschehen müssen, wenn die Erde eine Scheibe oder ein eckiger Körper wäre. Die meisten dieser Reisen sind ganz zu Schiffe zurückgelegt worden, da der größere Theil der Erdoberfläche Meer ist, und sie werden daher mit einem nicht ganz richtigen Ausdruck Weltumsegelungen genannt.

Die bisherigen Reisen um die Erde machten (wie sie Muncke aufzählt): Hernando Magalhaens, ein Portugiese, 1519 — 22, auf span. Schiffen; Francis Drake, ein Engländer, 1577 — 80; Thomas Candish, ein Engländer, 1586 — 88; Jacob Mahu und Simon de Cordes, Holländer, 1598; Olivier de Noort, ein Holländer, 1598 — 1601; Georg Spilberg, ein Deutscher, mit holländischen Schiffen, 1614 — 17; Jacob le Mair und Corn. van Schouten, Holländer, 1615 — 17; Jacob l'Hermite und Hugo Schapenham, Holländer, 1623 — 26; Cowley, ein Engländer, 1683 — 86; William Dampier, ein Engländer, 1683 — 91; Gemelli Careri, ein Italiener, 1693 — 97, welcher nach Osten theils zu Lande theils zu Wasser eine Reise um die ganze Erde machte; der Engländer William Funnel, 1703 – 1706; die Engländer Courtney, Rogers und Woods, begleitet von Dampier, 1708 — 11; Eduard Cooke, ein Engländer, 1708 — 11; Le Gentil de la Barbinais, ein Franzose, 1714 — 18; Clipperton und Shelvocke, Engländer, 1719 — 22; Jacob Roggewin, ein Holländer, 1721 — 23; George Anson, ein Engländer, 1740 — 44; Samuel Wallis desgl., 1740 — 44; John Byron, desgl., 1764 — 66; Philipp Carteret, desgl., anfangs mit Wallis, 1766 — 69; Bougainville, ein Franzose, 1766 — 69; James Cook, ein Engländer, 1769 — 71, mit Solander und Banks; 1775, mit J. Reinhold und Forster, Vater und Sohn; 1776, mit Clarke und Gore, bis 1779, den 14. Febr., an welchem Tage er auf Owyhee erschlagen wurde. Fourneaux, ein Engländer, 1772 — 74; Portlock und Dixon,

Engländer, 1785—88; Edwards, ein Engländer, 1790—92; Etienne Marchand, ein Franzose, 1790—92; George Vancouver, ein Engländer, 1790—95; A. J. v. Krusenstern, ein Russe, 1803—6; Otto v. Kotzebue, ein Deutscher, auf einem Schiffe des russischen Grafen Rumanzow, 1815—18; Freycinet, ein Franzose, 1817—20; Otto v. Kotzebue, zum zweitenmale auf Schiffen der russischen Marine; der Franzose Camille de Roquefeuil, 1816—19; Bellinghausen, 1819—22; Duperrey, ein Franzose, 1822—25; Harmsen, 1822—1824; der Nordamerikaner David Leslie, 1822—1825; Bougainville (Sohn des frühern Weltumseglers), 1824—26 ꝛc. Auch die Freibeuter Bowers 1679 und Peachor umschifften die ganze Erde, und ein Deutscher, C. F. Behrens, kam theils zu Wasser theils zu Lande um die ganze Erde. — Muncke bemerkt noch, daß die mit den Weltumsegelungen verbundenen Schwierigkeiten und Gefahren durch die neuesten Verbesserungen der Schifffahrt größtentheils verschwunden, und jene daher häufiger geworden sind, aber auch ihre Bedeutsamkeit fast gänzlich verloren haben, wenn sie nicht zu anderweitigen Entdeckungen dienen, da die kugelförmige Gestalt der Erde genugsam erwiesen ist.

Die Erde ist jedoch keine vollkommene Kugel, sondern nur eine kugelförmiger Körper. Ehe wir aber näher angeben, wie man dieses entdeckt hat und welches genauer die Gestalt der Erde sei, wollen wir in der Kürze diejenigen Linien angeben, welche man sich auf der Erde gezogen denkt und die man auf den, die Erde vorstellenden, Kugeln (Globen) wirklich ausführt. Man zieht diese Linien zu einer möglichen Eintheilung der ganzen Erdoberfläche so, daß sie dieselbe wie ein Netz überspannen, und da sie aus der Stellung der Erde zu den übrigen Himmelskörpern entnommen sind und ihre Größe und Gestalt durch die der Erde bedingt ist, so dienen sie zugleich zu genauerer Bestimmung und Erklärung aller derjenigen Erscheinungen, welche ihre Ursache in der Stellung der Erde zu den übrigen Himmelskörpern und der Gestalt und Größe ihrer Oberfläche haben. Vollständiger ist von ihnen unter den einzelnen Artikeln, welche ihr den Namen geben, die Rede.

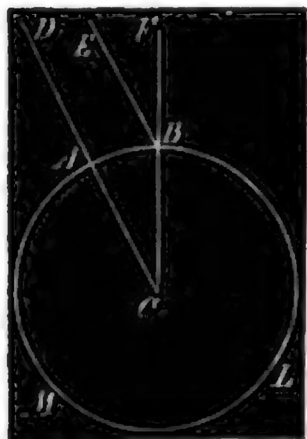
Bekanntlich scheint sich das ganze Himmelsgewölbe alle 24 Stunden um die scheinbar fest stehende Erde einmal herumzubewegen, und zwar geschieht diese Bewegung um zwei fest stehende Punkte, oder vielmehr um eine diese beiden Punkte verbindende gerade Linie. Diese beiden Punkte heißen die Pole des Himmels von denen wir in unseren Gegenden nur einen über dem Horizonte erblicken, nämlich den Nordpol, in dessen Nähe sich der Polarstern befindet, welcher daher niemals unter den Horizont sinkt und bei der scheinbaren Drehung des Himmels einen unmerklich kleinen Kreis beschreibt. Es wurde schon oben bemerkt, daß, wenn man weiter hin nach Süden reise, man endlich auch den Südpol oder in seiner Nähe liegende Sterne, die bei uns niemals erscheinen, erblicke. Diejenigen Punkte nun, welche auf der Erde gerade unter den Polen des Himmels sich befinden, d. h. diejenigen Punkte der Erde, in denen ein aufrecht stehender Mensch einen Pol des Himmels gerade über seinem Haupte (im Zenith s. d. Art.) haben würde, heißen die Pole der Erde, und eine sie verbindende gerade Linie heißt die Axe der Erde. Nehmen wir die Erde zunächst noch als eine wirkliche Kugel an, so können wir uns rund um dieselbe unzählige durch beide Pole gehende größte Kreise der Kugel gezogen denken, deren gemeinschaftlicher Durchmesser die Axe der Erde ist; diese Kreise heißen Meridiane oder Mittagskreise. Wie alle

Kreise theilt man auch diese in 360 Grade und jeden Grad wieder in 60 Minuten ꝛc. Zwischen den beiden Polen liegen folglich in jedem Meridiane 180 Grade, und die Hälfte dieser Halbkreise liegt im 90. Grade. Nun denke man sich in dieser 90° großen Entfernung von jedem Pole eine alle Meridiane schneidende Linie gezogen, so ist diese ebenfalls ein größter Kreis der Kugel, auf welchem die Axe, welche beide Pole verbindet, senkrecht steht, wie die Geometrie lehrt. Dieser größte Kreis der Erdkugel heißt der Aequator derselben, oder der Gleicher, oder die Linie. Auf der Ebene des Aequators stehen die Ebenen aller einzelnen Meridiane senkrecht, und da auch der Aequator in Grade und Minuten ꝛc. getheilt wird, so können die einzelnen Meridiane, wenn man einen derselben als den ersten annimmt, nach den verschiedenen Abständen von dem Durchschnittspunkte dieses ersten Meridians mit dem Aequator, in welchen sie den Aequator schneiden, zählen. Wenn man angiebt, unter welchem Meridiane auf diese Weise irgend ein Ort der Erde liegt, so nennt man dieses die Bestimmung der geographischen Länge des Ortes. Parallel mit dem Aequator denkt man sich nun noch Kreise um die Erde gelegt, die Parallelkreise oder kurz die Parallelen. Wie der Aequator schneiden auch diese Parallelen sämmtliche Meridiane, und so ist die Erde von den Meridianen und Parallelkreisen wie von einem Netze umsponnen. Die Parallelkreise sind natürlich nicht größte Kreise der Erdkugel, sondern werden von dem Aequator ab nach den Polen zu immer kleiner, bis sie in den Polen selbst zu Punkten sich zusammmenziehen. Nehmen wir den Null-Punkt der Gradeintheilung jedes einzelnen Meridians in seinem Durchschnittspunkte mit dem Aequator an, so können die Parallelkreise auf den Meridianen nach ihrer Entfernung vom Aequator gerechnet werden, und wenn man so angiebt, unter welchem Parallelkreise irgend ein Ort der Erde liegt, so nennt man dieses: seine geographische Breite bestimmen. Sobald man weiß, welches die geographische Länge und welches die geographische Breite eines Ortes ist, d. h., wenn man weiß, unter welchem Meridiane und zugleich unter welchem Parallelkreise irgend ein Ort der Erde liegt, so weiß man ganz genau die Lage desselben; denn er liegt in dem Durchschnittspunkte beider Linien. Da aber die Parallelkreise von dem Aequator an nach beiden Polen zu gezählt werden, so muß bei Angabe der Breite eines Ortes jedesmal hinzugefügt werden, ob dieselbe südlich oder nördlich sei, d. h. ob der über den Ort gehende Parallelkreis vom Aequator aus gegen den Nordpol oder gegen den Südpol zu liege.

Nicht alle Bewohner der Erde haben die Sonne im Laufe des Jahres einmal gerade über ihren Köpfen, d. h. im Zenith, sondern nur diejenigen, welche bis zu einer bestimmten Entfernung um den Aequator wohnen. Diejenigen Parallelkreise, welche in dieser Entfernung vom Aequator um die Erde gehen, heißen Wendekreise. Sie liegen zu beiden Seiten des Aequators in gleicher Entfernung von demselben, und zwar heißt der gegen den Nordpol zu liegende der Wendekreis des Krebses, der gegen den Südpol zu liegende der Wendekreis des Steinbocks. In derselben Entfernung von den Polen, in welcher die Wendekreise vom Aequator liegen, zieht man diejenigen Parallelkreise, welche man nach den ihnen zunächst liegenden Polen, den einen den nördlichen, den anderen den südlichen Polarkreis nennt. Durch die Wendekreise und die Polarkreise wird nun die ganze Erde in fünf Zonen oder Erdgürtel zerlegt, nämlich: 1) die nördliche kalte Zone rings um den Nordpol, begrenzt von dem nördlichen

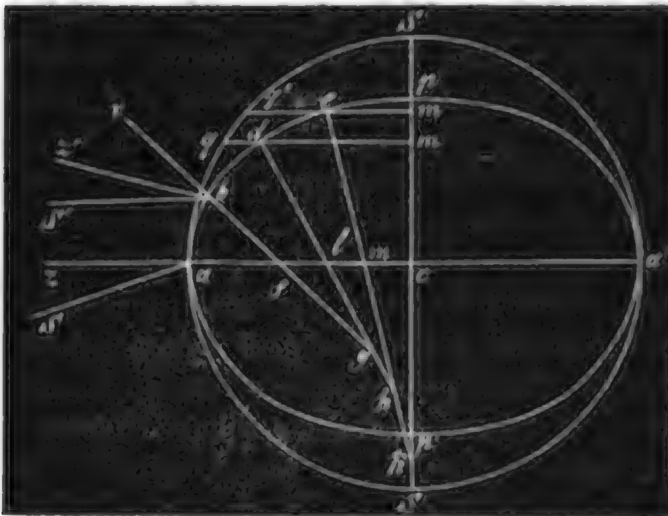
Polarkreise; 2) die nördliche gemäßigte Zone, begrenzt vom nördlichen Polarkreise und vom Wendekreise des Krebses; 3) die heiße Zone auf beiden Seiten des Aequators, gegen Norden von dem Wendekreise des Krebses, gegen Süden von dem Wendekreise des Steinbocks begrenzt; 4) die südliche gemäßigte Zone, gegen Norden von dem Wendekreise des Steinbocks, gegen Süden von dem südlichen Polarkreise begrenzt; endlich 5) die südliche kalte Zone rings um den Südpol, begrenzt von dem südlichen Polarkreise. Es giebt also eine heiße, zwei gemäßigte und zwei kalte Zonen der Erde.

Wir deuteten schon an, daß die Erde in der That keine vollkommene Kugel sei. Man fand dieses und die wahre Gestalt der Erde, als man genauere Versuche zu Bestimmung der Größe der Erde anstellte. Die Art und Weise, wie man die Größe der Erde aufzufinden gesucht hat, ist folgende. Gesetzt die Erde sei eine wirkliche Kugel und BLM stellte dieselbe (im Durchschnitte nach einem Meridiane) vor. A und B seien zwei Punkte auf der Oberfläche der Kugel, welche beide in demselben Meridiane ABLM liegen. Ist nun DA die auf der Erdoberfläche in A senkrecht stehende Linie, d. h. diejenige Linie, in welcher eine an ihrem Ende mit einem schweren Körper versehene oberwärts befestigte Schnur herabhängt oder, was dasselbe, diejenige Linie, welche vom Zenith eines in A befindlichen Menschen nach dessen Fußpunkte herabreicht und ist eben so BF die Senkrechte auf der Erdoberfläche in B: so werden beide Linien DA und BF in dem Mittelpunkte C sich schneiden. Gesetzt nun, ein Beobachter in A sehe einen Stern in der Richtung AD gerade in seinem Zenith stehend, so wird ein in B befindlicher Beobachter denselben Stern nicht in seinem Zenith in der Richtung von BF erblicken, sondern in irgend einer anderen Richtung BE. Da nun AD und BE die Richtungen sind, in welchen der Stern von A und B aus gesehen wird, so müssen sie sich erst in dem gesehenen Sterne selbst treffen. Dieser Stern liegt aber (wie alle Sterne, wenigstens die Fixsterne) in einer so großen Entfernung von der Erde, daß man einen für unsere Maße ganz unmeßbar geringen Fehler begeht, wenn man annimmt, daß die beiden Linien AD und BE einander parallel laufen. Ist dieses aber der Fall, so lehrt die Geometrie, daß der Winkel ACB = W. EBF ist. Nun kann man den Winkel EBF ausmessen, weil die Richtung von FB als die lothrechte Linie im Orte B bekannt ist und eben so die Richtung EB dadurch gegeben ist, daß man ein Fernrohr, durch welches man von B aus jenen Stern beobachten will, in diese Richtung stellen muß. Hierdurch ist auch der Winkel bei C und damit, wenn der Meridian ABLM ein wirklicher Kreis ist, die Größe des Bogens AB in Graden gegeben. Mißt man dann auf der Erdoberfläche selbst die Entfernung des Punktes A von dem Punkte B nach einem bekannten Längenmaße, z. B. nach Meilen oder Toisen, so weiß man hiernach, wie viele Meilen auf eine bestimmte Anzahl Grade eines Erdmeridians kommen, also auch, wie viele Meilen oder Toisen ein Grad des Erdmeridians hat. Man weiß ferner, wie groß der Umfang der ganzen Erdkugel ist; denn dieser ist mit dem Meridiane selbst gegeben; ferner, wie groß der Halbmesser der Erde ist, da dieser ein bekanntes Verhältniß zum Umfange des Meridianes hat; endlich, wie groß die Oberfläche und wie groß der cubische



Inhalt der Erde ist, immer unter der Voraussetzung, daß die Erde wirklich eine Kugel sei. Ist diese Voraussetzung richtig, so müssen die Resultate aus den in angegebener Art angestellten Beobachtungen, welche zwei unter Einem Meridian gelegene Orte man auch dazu wählen mag, immer dieselben sein, und nur aus Beobachtungsfehlern erklärliche Abweichungen der Resultate von einander wären möglich.

Die Resultate der verschiedenen Beobachtungen, die unter verschiedenen Breiten angestellt worden sind, sind nun aber keinesweges immer übereinstimmend, vielmehr hat man gefunden, daß, wenn man in angegebener Weise aus den Beobachtungen von zwei unter demselben Meridian gelegenen Punkten den Halbmesser der Erde berechnet, verschiedene Resultate herauskommen. Die auf die angegebene Weise gefundenen Halbmesser nehmen vom Aequator bis zu den Polen beständig zu, und hieraus folgt, daß die Erde keine wirkliche Kugel ist, sondern unter dem Aequator nach der Richtung des Meridians stärker als unter den Polen gekrümmt ist und der Durchmesser des Aequators der Erde größer als die Axe derselben ist. Bohnenberger beweist dieses auf elementare Weise wie folgt. ap sei ein Quadrant des Erdmeridians, siehe beistehende Fig., a ein Punkt des Aequators, und es seien die Bogen ab, bd, de, ep desselben gemessen: so werden die Richtungen af, bf, dg, eh, pk der Schwere auf den an die Punkte a, b, d, e, p dieser Bogen gezogenen Tangenten senkrecht sein. Aus dem Bogen ab ergebe sich der Halbmesser af, aus dem Bogen bd ein größerer Halbmesser bg, und g sei der Mittelpunkt des als kreisförmig angenommenen Bogens bd, welcher auf der Verlängerung von bf liegen wird, weil vermöge der Voraussetzung ab und bd in b eine gemeinschaftliche Tangente haben. Ebenso seien dh oder he, ek oder pk die aus den Bogen de, ep gefundenen Halbmesser, pk > he, und h, k die Mittelpunkte der Bogen de, ep. Die Verlängerung von af schneide die dg, he, pk in den Punkten l, m, c. Nun ist



$$
\begin{aligned}
fg &< fl + lg \\
\text{mithin } fg + gh &< fl + lh \\
\text{und um so mehr } &< fl + lm + mh \\
fg + gh + hk &< fl + lm + mk \\
\text{um so mehr } &< fl + lm + mc + ck \\
\text{oder } fg + gh + hk &< fc + ck
\end{aligned}
$$

Es ist aber

$$pk = ek = \begin{Bmatrix} eh \\ dh \end{Bmatrix} + hk = \begin{Bmatrix} dg \\ bg \end{Bmatrix} + gh + hk = \begin{Bmatrix} bf \\ af \end{Bmatrix} + fg + gh + hk$$

folglich ist $\left.\begin{matrix} pk \\ pc + ck \end{matrix}\right\} < af + fc + ck$

und $pc < ac$

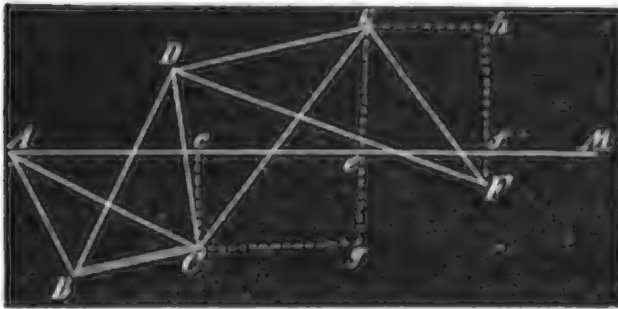
Wird nun c als der Mittelpunkt der Erde und also auch als der Mittelpunkt aller Meridiane angenommen, so muß die Entfernung des Poles cp oder cp' von dem Mittelpunkte geringer sein als die Entfernung ca jedes Punktes a des Aequators von c, und man bekommt eine mit den gemachten Beobachtungen übereinstimmende Vorstellung der Erde, wenn man dieselbe als einen Körper sich vorstellt, welcher entsteht, wenn man eine Ellipse apa'p' um ihre kleine Axe pp' herumbewegt. Dann ist pp' die Axe der Erde, p, p' sind ihre Pole; aa' ist der Durchmesser des Aequators, welcher durch den Punkt a beschrieben wird; in jeder Lage, welche apa'p' bei der genannten Umdrehung um pp' annimmt, giebt die Ellipse einen Meridian der Erde und jeder Punkt in dieser Linie b, d, e 2c. beschreibt bei der Umdrehung einen Parallelkreis. Einen so durch die Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Axe entstandenen Körper nennt man ein elliptisches Sphäroid oder ein Revolutions-Ellipsoid; und ein solcher Körper also wäre die Erde.

Da wie oben gezeigt worden, $pk = af + fg + gh + hk$ ist, so wird, wenn man sich in dem Punkte k das eine Ende eines Fadens, dessen Länge $= pk$, befestigt, und diesen auf die gebrochene Linie fghk aufgewickelt denkt, sein nach der Richtung fa ausgespanntes Stück mit seinem Ende in den Punkt a treffen. Wird nun dieser Faden, indem man ihn beständig gespannt erhält, nach und nach von der gebrochenen Linie fghk abgewickelt; so wird sein bewegliches Ende zuerst den Kreisbogen ab, hernach den Kreisbogen bd, sodann den Kreisbogen de 2c. beschreiben, weil von a bis b der abgewickelte Theil des Fadens $= af$, von b bis d $= fg$, von d bis e $= dh$ 2c ist. Man lasse diese gebrochene Linie fghk in eine stetig krumme Linie übergehen, welche die Linien ae und pk berühre; so werden sich die Halbmesser der Kreisbogen auch stetig ändern, und es wird nun durch das Ende des Fadens eine stetig krumme Linie beschrieben werden, von welcher kein Theil mit einem Kreisbogen genau zusammenfällt, welche aber in jedem ihrer Punkte der Krümmung desjenigen Kreises am nächsten kommen wird, dessen Mittelpunkt in den von dem Faden berührten Punkt der krummen Linie fällt, von welcher der Faden abgewickelt wird, und dessen Halbmesser dem abgewickelten Theile des Fadens, oder der zwischen jenem Berührungspunkt und dem Erdmeridiane liegenden geraden Linie gleich ist. Dieser Kreis heißt der Krümmungskreis der krummen Linien, sein Halbmesser heißt der Krümmungshalbmesser, welchem die verschiedenen gefundenen Halbmesser desto näher kommen werden, je kleiner die Bogen des Erdmeridians sind, aus welchem man sie berechnet. Wir werden auf diesen wichtigen Gegenstand weiter unten zurückkommen.

Was nun die wirklich angestellten Beobachtungen selbst betrifft, aus denen die Größe und Gestalt der Ellipse berechnet worden ist, welche man sich um ihre kleine Axe beschrieben denken muß, um den Erdkörper zu erhalten, so sind schon von griechischen Gelehrten Gradmessungen angestellt worden, so wie später von arabischen, doch sind diese Messungen nicht zu gebrauchen, theils wegen ihrer Ungenauigkeit, theils, weil sie sich auf Maße beziehen, deren Größe und Verhältniß zu denen bei uns gebräuchlichen Maßen wir nicht genau kennen. In neuerer Zeit hat man eine große Menge von Gradmessungen angestellt, aber auch unter diesen giebt es mehre, welche wegen ihrer Ungenauigkeit nicht zu brauchen sind. Die oben allgemein angebene Methode ist bei diesen Gradmessungen befolgt worden und die-

selbe wurde zuerst im Anfange des 17. Jahrhunderts von Willibrod Snellius anempfohlen, indem derselbe eine bequeme Art näher angab, nach welcher die Messung der Entfernung der Beobachtungsorte auf der Oberfläche der Erde vorzunehmen sei. Schon vor Snellius maß im Jahre 1525 Fernel einen Grad zwischen Paris und Amiens durch die Zahl der Umdrehung eines Wagenrades und fand dabei die Länge des Grades gleich 57070 Toisen, welches Resultat mit späteren genaueren Beobachtungen so nahe übereinstimmt, daß man bei der Ungenauigkeit der von Fernel angewandten Methode die Auffindung desselben nur einen Zufall nennen kann.

Die von Snellius angewandte Methode, das zwischen zwei Beobachtungsorten liegende Stück eines Erdmeridians zu messen, giebt Bohnenberger, wie folgt an. Es werden die in der Nähe des zu messenden Bogens liegenden, sich auszeichnenden oder durch besondere Signale in der Ferne sichtbar gemachten Punkte durch eine Reihe von Dreiecken so mit einander verbunden, daß jedes dieser Dreiecke mit dem nachfolgenden eine Seite gemeinschaftlich hat, alsdann wird man nur eine Seite dieser Dreiecke und ihre Winkel zu messen haben, um die Seiten der übrigen Dreiecke berechnen zu können. Mißt man ferner den Winkel, welchen eine der Seiten dieser Dreiecke mit dem Meridian macht, so wird man mittelst der bekannten Seiten der Dreiecke und dieses Winkels die Länge des zu messenden Bogens des Meridians durch Rechnung herleiten können. Es sei nämlich AM ein Bogen eines Meridians der Erde, A, B, C, D ꝛc. seien auf diesem Meridian oder in seiner Nähe liegende Punkte, welche durch die geraden Linien AB, BC, AC ꝛc. mit einander verbunden seien und eine Reihe an einander hängender Dreiecke bilden. Man messe eine Seite BC dieser Dreiecke und die Winkel so wohl des Dreiecks ABC als aller übrigen: so findet man aus der Basis BC und den Winkeln die Seiten AB, AC. Ebenso in dem Dreieck BCD aus der Seite BC die Seiten BD, CD. In dem anliegenden Dreieck CDE kennt man wiederum eine Seite CD und die Winkel, woraus sich die Seiten DE und EC ergeben. Endlich findet man in dem Dreieck EDF aus der nun bekannten Seite DE und den Winkeln die Seiten DF und FE. Mithin werden die geraden Linien, aus welchen die gebrochene Linie ACEF zusammengesetzt ist, und die Winkel ACE, CEF, welche sie mit einander machen, durch die gemessenen Winkel der Dreiecke gegeben sein. Man beobachte noch den Winkel CAM, welchen die Seite CA mit der für den Ort A gezogenen Mittagslinie AM macht, fälle von C, E und F die Perpendikel Ce, Ee, Ff auf AM und ziehe durch die Punkte C und E die Parallelen Cg, Eh mit AM, welche den wo nöthig verlängerten Perpendikeln Ee, Ff in g und h begegnen. Da man in dem bei c rechtwinklichen Dreieck ACc den Winkel CAc und seine Hypotenuse AC kennt, so kann man die Seite Ac finden. Nun macht der Winkel gCA mit mit dem gegebenen CAM zwei rechte Winkel, und der Winkel ACE ist durch die Winkel der Dreiecke gegeben; folglich kennt man ihren Unterschied gCE. Man kann also die Seite Cg oder die ihr gleiche ce durch die Auflösung des bei g rechtwinkligen Dreiecks CEg finden. Endlich ist der Winkel CEh = 2R — gCE,



und der Winkel GEF ist gegeben; folglich kennt man den Winkel FEh des rechtwinkligen Dreiecks FEh, dessen Hypotenuse ebenfalls gegeben ist, und kann daher hE oder die ihr gleiche ef finden. Aus diesen Stücken des zu messenden Bogens ergiebt sich nun der Bogen Af = Ac + ce + cf, und die Messung kann auf ähnliche Art weiter fortgesetzt werden, wobei man nichts als Winkel von Dreiecken zu messen hat.

Snellius selbst maß nach seiner Methode im Jahre 1615 zwischen Alcmar und Bergen op Zoom einen Bogen von 1° 11′ 30″ und fand einen Grad = 55021 Toisen, eine ungenaue Angabe, welche er selbst aber später dahin berichtigt haben soll, daß die Größe eines Grades = 57033 Toisen sei. Die erste genauere Messung nach der von Snellius angegebenen Methode stellte im Jahre 1669 Picard an, indem er einen Grad des durch die Pariser Sternwarte gezogenen Meridians zwischen Paris und Amiens = 57057 Toisen fand. Die beiden Cassini und Maraldi wiederholten im J. 1683, 1700 und 1718 diese Messungen und setzten dieselben durch ganz Frankreich fort, woraus sich die Entfernung von der Sternwarte zu Paris bis an den Parallelkreis von Collioure an der spanischen Grenze = 360614 Toisen, der Unterschied der Polhöhen (der gemessene Bogen) = 6° 18′ 57″ und die Länge eines Grades = 57097 Toisen ergab. Man fand ferner, daß Dünkirchen um 125454 Toisen nördlicher als die Pariser Sternwarte liege, daß der Unterschied der Polhöhen = 2° 12′ 9″, 5 und die Größe eines Grades = 56960 sei. Nach diesen Beobachtungen wäre also ein nördlich gelegener Grad des Meridianes kleiner als ein südlich gelegener desselben und es müßte folglich die Erde nicht nach den Polen sondern nach dem Aequator zu abgeplattet sein. Es ist später aber von Cassini de Thury und Lacaille nachgewiesen worden, daß jene Beobachtungen mit Fehlern behaftet waren. Newton schloß indeß aus theoretischen Gründen, daß die Erde nothwendig an den Polen abgeplattet sein müsse. Um die Frage zur Entscheidung zu bringen, welche Art der Abplattung der Erde wirklich stattfinde, war es nöthig, gleichgenaue Messungen in der Nähe des Aequators und in der Nähe der Pole anzustellen. Daher bewog Maurepas den Cardinal Fleury und den König von Frankreich im J. 1735 die beiden Geometer Bouguer und Condamine in Begleitung ausgezeichneter Gehülfen (Couplet, Godin, Jussieu und Andere) und vortrefflicher Instrumente nach dem Aequator zu schicken. Sie wurden begleitet von den Spaniern Antonio de Ulloa und George Juan. Diese Männer nahmen Beobachtungen in der Gegend von Peru vor. Bei ihren Messungen legten sie als Normalmaß die noch jetzt in Paris aufbewahrte und zu Vergleichung der verschiedenen Maße noch jetzt gebrauchte eiserne Toise von Peru bei einer Temperatur von + 13° Reaumur zu Grund. Während der Zeit wurden Maupertuis, Clairaut, Camus, Lemonnier, Outhier im Jahre 1736 nach Schweden geschickt und maßen dort in Verbindung mit Celsius von Torneå unter 65° 51′ bis zum Berge Kittis unter 66° 48′ 30″ einen Bogen von 57′ 28″, 5 und bestimmten die Größe des Grades = 57437 Toisen. Bouguer fand die Länge eines Grades unter dem Aequator = 56753 Toisen. Aus der Vergleichung beider Resultate ergiebt sich, daß die Grade unter dem Aequator kleiner sind, als die Grade in der Nähe der Pole, daß also die Erde in der Gegend des Aequators stärker gekrümmt ist als in der Gegend der Pole oder daß dieselbe an den Polen abgeplattet ist.

Fernere Breitengradmessungen sind vorgenommen worden im Jahre 1750 von Lacaille, wonach unter 38° 18′ 30″ S. B. die Länge eines Grades = 57037 Toisen ist; von le Maire und Boscovich (1751 — 53), wonach unter 43° N. B. ein Grad = 56973 Toisen ist; von Beccaria (1768) unter 44° 44′ N. B., wonach ein Grad = 57024 Toisen; von Liesganig, wonach unter 48° 43′ N. B. ein Grad = 57086 Toisen und unter 45° 57′ N. B. ein Grad = 56881 Toisen *). Mason und Dixon haben im J. 1764 genaue Beobachtungen in den Ebenen von Pensylvanien angestellt und unter 39° 11′ 56″,2 N. B. die Länge eines Grades = 56888 Toisen gefunden. Burrow (1790) fand unter 23° 18′ N. B. einen Breitengrad = 56725,3 Toisen, einen Längengrad = 52534,8 Toisen. Bei weitem genauer sind die im gegenwärtigen Jahrhundert angestellten Beobachtungen wegen der dabei befolgten großen Genauigkeit. Swanberg und Ofverbom fanden in den J. 1801 — 1803 unter dem Polarkreise die Länge eines Grades = 57209,28 Toisen. Mudge fand die Länge eines Grades unter 51° 2′ 54″ = 57127,65 Toisen und unter 52° 50′ 29″,8 = 57017,06 Toisen. Lambton nahm 1802 in Ostindien Messungen vor und fand nach genauen Correctionen die Länge eines Grades unter 9° 34′ 44″ N. B. = 56746,50, unter 13° 2′ 55″ N. B. = 56757,63, unter 16° 34′ 42″ = 56777, 63.

Noch ausgedehnter sind diejenigen Messungen gewesen, welche in Frankreich angestellt worden sind, um aus der Messung eines Meridianes durch ganz Frankreich die Länge eines ganzen Quadranten (ein Viertheil des ganzen Meridianes also 90°) zu berechnen, um ein Zehnmilliontheil desselben als Normalmaß für die französische Republik unter dem Namen Meter zu erhalten. Bei diesen Messungen wurde ebenfalls die Toise von Peru zum Grunde gelegt und die Messung selbst vorgenommen mit vier sorgfältig gearbeiteten Platinstangen, mit einer parallel aufliegenden Stange von Kupfer, damit man aus der ungleichen Ausdehnung dieser Metalle die Temperatur und zugleich die absolute Ausdehnung der ganzen Stange finden könne **). Die Ausführung der ganzen Beobachtung wurde für den südlichen Bogen von Rodez bis Barcellona Mechain übertragen. Die Messung des nördlichen Bogens von Rodez bis Dünkirchen Delambre. Die äußersten Punkte des ganzen gemessenen Bogens waren Dünkirchen unter 51° 2′ 10″,5 und der Thurm von Montjouy bei Barcellona unter 41° 21′ 44″,8, so daß also die Länge des ganzen Bogens 9° 40′ 25″,7 betrug; dieselbe wurde = 1275792,36 Meter gefunden. Die Mitte dieses Bogens fiel auf 49° 11′ 58″, um dieselbe aber genau unter 45° als die Mitte des Quadranten zu bringen, wünschte Mechain die Messung bis nach den balearischen Inseln auszudehnen. Da Mechain starb, so übertrug das Nationalinstitut die Ausführung dieser Messung Biot und Arago. Um bei der Messung Signale zu haben, wurden auf den Bergspitzen Lampen vor große Reverberen gestellt, welche des Nachts von den verschiedenen Beobachtungspunkten aus mit Hülfe von Fernröhren wie kleine Fixsterne wahrgenommen wurden. Wenn man nach dem ganzen gemessenen Bogen

*) Diese zuletzt angeführten Resultate sind sämmtlich mehr oder weniger mit Unrichtigkeiten behaftet.

**) Vergl. d. Art. Ausdehnung und Compensation.

den nördlichen Quadranten der Erde berechnet, so findet man ein Zehnmilliontheil desselben = 0,5131111 Toisen oder 443,328 Linien. Zur Bestimmung der Größe des Meters wurde aber die Beendigung der Messung nicht abgewartet, sondern aus der Messung des Bogens bis Montjouy wurde der Quadrant = 5130738,62 Toisen und das Meter = 443,296 Paris. Linien der Toise von Peru bei 16°,75 C. Temperatur ermittelt.

Aus den angegebenen Beobachtungen hat man sich nun bemüht, die Größe der Abplattung der Erde zu finden. Bevor wir aber näher davon sprechen, müssen wir erst einige Bemerkungen aus Encke's trefflichem Aufsatz: „Ueber die Dimensionen des Erdkörpers, nebst Tafeln nach Bessel's Bestimmungen" *) vorausschicken. Alle Erscheinungen, sagt Encke, welche einen Schluß auf die Gestalt der Erde erlauben, führen darauf hin, daß unser Weltkörper in seiner äußern Figur sich einem Revolutionssphäroid so sehr nähert, daß wenn man die Dimensionen desselben so zu bestimmen versucht, daß sie sich den Beobachtungen möglichst nahe anschließen, die übrig bleibenden Unterschiede zwar nicht so klein werden, daß man sie ganz allein als Fehler der Beobachtungen ansehen könnte, aber doch sich so vertheilen lassen, daß schon eine große Genauigkeit der Beobachtungs-Hilfsmittel dazu gehört, um Abweichungen von der regelmäßigen Gestalt als wirklich in der Natur begründet zu construiren. In diesem Sinne läßt sich mit großer Annäherung der Satz aufstellen, die Erde bilde in der That ein regelmäßiges Revolutionssphäroid, wie einflußreich auch die Vertheilung der Masse im Innern und die Unregelmäßigkeiten der Oberfläche selbst auf die Beobachtungen, durch die man auf der Oberfläche die Gestalt zu ermitteln sucht, einwirken mögen. Unter den Mitteln, durch welche sich die Gestalt erforschen läßt, stehen die Gradmessungen oben an, wenn gleich bei ihrer Anwendung Hypothesen, welche in aller Strenge nicht der Wahrheit gemäß sind, keineswegs ausgeschlossen werden können. Wie gering indessen der Einfluß derselben bei dieser Gattung von Beobachtungen ist, und wie sehr wir deshalb hoffen können, schon jetzt der Wahrheit beträchtlich nahe gekommen zu sein, erkennt man hier wie bei anderen astronomischen Bestimmungen, wenn man die früheren Ermittelungen, auf weniger zahlreiche Data gegründet, mit den neueren vergleicht, bei welchen alles Vorhandene benutzt worden ist. Die Uebereinstimmung ist dabei so groß, daß die künftigen etwa erforderlichen Verbesserungen sich in sehr engen Grenzen halten werden.

Die Gradmessungen geben die auf auf der Oberfläche gemessenen Bogen nebst den Winkeln, welche die Normalen der einzelnen Punkte unter sich oder mit dem Aequator machen. Setzt man das Revolutionssphäroid voraus, so ist die Aufgabe, diese beiden Beobachtungsdata in Uebereinstimmung zu bringen. Bei der Genauigkeit indessen, mit welcher in neuerer Zeit die Maß-Vergleichungen und die geodätischen Operationen geführt werden, ist das Verhältniß der mittlern zu befürchtenden Fehler bei der Messung der Bogen gegen die bei den Polhöhen zu befürchtenden Fehler ein so geringes, daß man die Entfernungen als so gut wie genau ansehen und die Unterschiede allein auf die Polhöhen vertheilen kann. Es kommt dabei noch in Betracht, daß bei den Polhöhen die örtliche Beschaffenheit der Stationen häufig eine Unsicherheit von mindestens zwei Bogensecunden herbei-

*) Berliner astron. Jahrb. für 1852 S. 318 ff.

führen kann, während schon eine Bogensecunde in den Entfernungen etwa 16 Toisen bewirken wird und eine Fehlerquelle von demselben Einflusse, wie die Ablenkung der Lothlinie bei den Polhöhen, sich in Dreieckswinkeln, auf denen die Bestimmung der Entfernungen beruht, nicht nachweisen läßt. Das für jetzt in der Hypothese des Revolutionssphäroids zu befolgende Princip wird, so schließt Encke die Einleitung seines oben erwähnten Aufsatzes, also darin bestehen: durch solche Verbesserungen der Polhöhen, bei welchen die Summe der Quadrate ein Kleinstes ist, die Entfernungen genau darzustellen.

Nach diesem Princip hat zuerst Walbeck *) 6 Gradmessungen in Berechnung genommen; nämlich die Gradmessung am Aequator, die beiden ostindischen von Lambton, die französische, die englische von Mudge und die schwedische von Svanberg. Walbeck fand 90. Theil des Erd-Meridianquadranten = 57009,76 Toisen

a = 3271819,5 Toisen $\frac{a-b}{a} = \frac{1}{302,78}$.
b = 3261012,8 "

Hier, wie auch in der Folge, bezeichnet a die halbe große Axe der erzeugenden Ellipse, b die halbe kleine Axe derselben und $\frac{a-b}{b}$ die Abplattung. Unter Toise ist stets die Toise du Pérou oder das in Paris aufbewahrte eiserne Modell bei + 13° Réaumur zu verstehen.

Im Jahre 1829 erweiterte Schmidt **) die Untersuchung Walbeck's, indem er bei jenen 6 Gradmessungen die Zwischenpunkte mitnahm und die hannoversche Gradmessung hinzufügte. Schmidt fand

90. Theil des Erd-Meridianquadranten = 57008,655 Toisen
a = 3271852,32 Toisen $\frac{a-b}{b} = \frac{1}{297,479}$.
b = 3260853,70 "

Acht Jahre später stellte Bessel ***) in ausgezeichnet kritischer Weise seine Berechnungen an, zu denen er noch drei neue Gradmessungen: die dänische, preußische und russische, hinzufügen konnte. Bessel fand aus 10 Gradmessungen

90. Theil des Erd-Meridianquadranten = 57011,453 Toisen
a = 3271953,854 Toisen $\frac{a-b}{a} = \frac{1}{300,7047}$.
b = 3261072,900 "

Als jedoch im Jahre 1841 Puissant ****) nachwies, daß bei der französischen Gradmessung in der Berechnung des Abstandes der Parallelen von Montjouy und Mola ein Fehler von 68 Toisen begangen sei, der folglich die bisherigen Annahmen für die Gradmessung wesentlich ändern mußte, so nahm Bessel *****)

---

*) In seiner Abhandl. De forma et magnitudine telluris, ex dimensis arcubus meridiani definiendis. Aboae 1819.
**) Schumacher's Astron. Nachr. Nr. 161; Bd. VII. S. 330.
***) Schumacher's Astron. Nachr. Nr. 333 und Nr. 334; Bd. XIV. S. 333.
****) Comptes rend. Juni 21. 1841.
*****) Schumacher's Astron. Nachr. Nr. 438. Bd. XIX. S. 97.

in Folge dieser Aufklärung nochmals seine treffliche Arbeit vor, und fand aus 10 verbesserten Gradmessungen

90. Theil des Erd-Meridianquadranten = 57013,109 Toisen

$a = 3272077,14$ Toisen $\frac{a-b}{a} = \frac{1}{299,1528}$.
$b = 3261139,33$ „

Endlich fand Encke eine Bemerkung Airy's *), daß zufolge dessen Untersuchung **) bei dem Chartenbureau in England angenommen wird:

$a = 20923713$ } englische Fuß.
$b = 20853810$ }

Mit diesen Zahlen ergiebt sich, wenn man mit Encke 6,394563993 engl. Fuß = 1 Toise setzt:

$a = 3272109,404$ Toisen $\frac{a-b}{a} = \frac{1}{298,325}$.
$b = 3261177,776$ „

Vergleicht man nun diese fünf Hauptergebnisse unter einander, so fallen sie eigentlich so gut wie völlig zusammen, weil die Verschiedenheiten sämmtlich innerhalb der Grenze der mittlern Fehler liegen werden. Soll man aber, und dies ist doch nothwendig, sich für eine entscheiden, so wird man offenbar der zweiten Bessel'schen Bestimmung den Vorzug geben müssen. Große Aenderung wird, sagt Encke, diese Bestimmung wohl auf keinen Fall mehr erfahren, und Rechnungen und Tafeln, welche auf sie gegründet sind, werden noch für lange Zeit allen Anforderungen entsprechen.

Man hat also nach Bessel auf's Genaueste:

$a = 3272077,1399$ Toisen; $\log a = 6,5148235.337$
$b = 3261139,3284$ „ $\log b = 6,5133693.539$

$$\frac{a-b}{a} = \frac{1}{299,152818}.$$

Da man oft die Größen e (Excentricität) und $n = \frac{a-b}{a+b}$ braucht, so ist, weil $a^2e^2 = a^2 - b^2$, alsdann:

$\log e = 8,9122052.075$
$\log n = 7,2238033.861$

Sei nun ϱ die Entfernung eines Ortes auf der Erdoberfläche vom Centrum des Erdsphäroids; φ des Ortes astronomische Polhöhe, d. h. der Winkel, den die Normale des Ortes mit dem Aequator macht; φ' des Ortes verbesserte Polhöhe d. h. der Winkel, den ϱ mit dem Aequator macht; so hat man zur Bestimmung dieser Größen die bekannten Formeln:

$$\varrho \sin \varphi' = \frac{a(1-e^2) \sin \varphi}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}$$

$$\varrho \cos \varphi' = \frac{a \cos \varphi}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}.$$

*) Airy Determination of the longitude of Valentia p. 228.
**) Encyclopaedia Metropolit., Art. figure of the earth.

Die analytische Geometrie zeigt ferner, daß unter allen Krümmungshalbmessern jenes Ortes von der Polhöhe φ der im Meridian der kleinste und der im ersten Vertical der größte sei, daß also, wenn jener mit R′, dieser mit R″ bezeichnet wird:

$$R' = \frac{a\,(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}$$

$$R'' = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}$$

ist. Bereits weiter oben ist erklärt worden, was man unter Krümmungshalbmesser zu verstehen habe. Nach diesen und noch einigen anderen Formeln sind nun die im Berliner astronomischen Jahrbuche für 1852 S. 343 — 381 befindlichen Tafeln scharf berechnet, aus denen wir hier einen Auszug mittheilen:

Tafel I.

Geogr. Breite φ	Geogr. Br. — Verb. Br. $\varphi - \varphi'$		Grad im Mer. Toisen	Grad senkr. auf d. Mer. Toisen	Grad des Parallels Toisen
0°	0′	0″,00	56727,356	57108,519	57108,519
10	3	55,47	56744,485	57114,267	56246,573
20	7	22,80	56793,856	57130,826	53685,416
30	9	57,12	56869,635	57156,225	49498,743
40	11	19,76	56962,822	57187,427	43808,110
45	11	30,65	57012,510	57204,050	40449,371
50	11	20,55	57062,270	57220,687	36780,749
60	9	59,12	57155,984	57251,995	28625,997
70	7	25,08	57232,570	57277,555	19590,078
80	3	56,96	57282,651	57294,257	9949,043
90	0	0,00	57300,061	57300,061	0,000

Tafel II.

Geogr. Breite φ	Länge d. Bogens v. Aequator bis zum Parallel φ. Toisen	Geogr. Breite φ	Länge d. Bogens v. Aequator bis zum Parallel φ. Toisen
0°	0,000	45°	2557386,561
5	283643,977	50	2842573,796
10	567330,885	55	3128006,851
15	851102,380	60	3413674,793
20	1134997,608	65	3699559,492
25	1419052,038	70	3985636,153
30	1703296,390	75	4271874,053
35	1987755,706	80	4558237,481
40	2272448,578	85	4844686,827
45	2557386,561	90	5131179,811

Encke bemerkt in seinem erwähnten Aufsatze, daß, wenn der Meter = 443,296 Pariser Linien angenommen wird, der Quadrant des Erdmeridians 10000855,76 Meter enthält, und daß also, wenn der Meter wirklich der 10millionste Theil des Erdquadranten sein sollte, seine Länge zu 443‴,33394 hätte festgesetzt werden müssen. Die jetzige gesetzliche Bestimmung des Meter ist mithin eigentlich nach der Definition des Meter um die hier sehr beträchtliche Größe von 0‴,03794 Pariser Linien zu klein.

Wie man, um die Form der Erde zu bestimmen, Messungen der Grade des Meridians in verschiedenen Breiten vorgenommen hat, so kann man auch die Länge der Grade der verschiedenen Parallelkreise nach ihrem Abstande vom Aequator messen und daraus einen Schluß auf die Gestalt der Erde machen. Betrachtet man nämlich (Fig. 876) a p a′ p′ als diejenige Ellipse, durch deren Umdrehung um p p′ das Erdsphäroid beschrieben wird, so werden, wie schon oben gesagt, durch die Punkte in dem Umfange der Ellipse d, e ꝛc. die Parallelkreise beschrieben. Steht m d und m′ e senkrecht auf p c, so sind m und m′ die Mittelpunkte, m d und m′ e die Halbmesser dieser Parallelkreise, und es ist leicht einzusehen, daß diese Halbmesser, also auch die Umfänge der durch sie beschriebenen Kreise, so wie die einzelnen Grade dieser Kreise kleiner werden müssen, je weiter dieselben vom Aequator (welcher durch a beschrieben wird) abstehen. Also z. B. daß m′ e < m d. Wäre die Erde eine wirkliche Kugel, so könnte man sich dieselbe durch Umdrehung des Kreises a s a′ s′ entstanden denken und dann würden q und q′ die den Mittelpunkten m und m, entsprechenden Parallelkreise beschreiben. Schon die Figur zeigt, daß der durch q m beschriebene Kreis größer sein müsse als der durch d m beschriebene, so wie daß der durch q′ m′ beschriebene größer als der durch e m′ beschriebene sein müsse, und daß man aus der Art und Weise wie die Größe der Grade der Parallelkreise nach dem Pole zu abnimmt, auf die Gestalt der Erde schließen könne; denn offenbar nimmt die Größe der Parallelkreise desto langsamer ab, je mehr die Gestalt der Erde einer Kugel sich nähert, desto schneller, je mehr nach den Polen zu die Erde abgeplattet ist.

Man hat indessen bei weitem wenigere Messungen von Längengraden als Breitengradmessungen angestellt, indem die Operationen bei jenen noch schwieriger als bei diesen sind, auch noch weniger leicht eine befriedigende Genauigkeit zu erreichen ist. Doch sprechen fast alle Längengradmessungen wenigstens im Allgemeinen für die Abplattung der Erde nach den Polen zu.

Zu den durch Genauigkeit ausgezeichneten Messungen gehört die Längengradmessung, welche Brousseaü, Nicollet und Pictet auf dem Parallelkreise von Marennes bis Genf unter 45° 43′ 12″ ausgeführt, und die Plana und Carlini bis Padua fortgesetzt haben. Der erste gemessene Bogen hat eine Länge von 565052,5 Meter, und giebt die Größe eines Längengrades = 77867,25 Meter (39952, 66 Toisen), mit dem Meridianbogen zwischen Greenwich und Formentera verglichen aber die Abplattung = $\frac{1}{271,31}$. Der ganze bis zum Meridian von Mailand verlängerte Bogen dagegen giebt die Größe eines Längengrades = 77862,66 Meter (39949,33 Toisen) und eine Abplattung = $\frac{1}{275,68}$; bis Padua ausgedehnt erhält man endlich den Längengrad = 77847 Meter (39941,27

Toisen) und $\frac{1}{292}$ als Abplattung. Muncke macht darauf aufmerksam, wie auch aus dieser Messung (bei der Verschiedenheit der angeführten Resultate) hervorgehe, daß die Erde nicht regelmäßig gekrümmt sei, sondern örtliche Abweichungen von einer überall gleichmäßigen Gestalt darbiete.

Eine ganz andere Art, die Gestalt der Erde zu bestimmen, ergab sich aus der zuerst von Picard ausgesprochenen Thatsache, daß die Pendel unter niederen Breiten verkürzt werden müssen, um in gleichen Zeiten zu schwingen als in höheren. Der Grund der Pendelschwingungen ist nämlich die Schwere oder die Anziehung, welche die Erde gegen einen Körper ausübt. Die Wirkung der ganzen Erde gegen einen an einem Faden aufgehangenen schweren Körper ist die, daß sie demselben eine bestimmte Richtung (die der lothrechten Linie) gegen sich giebt. Bringt man den aufgehängten Körper aus dieser Richtung heraus, so geht derselbe durch mehrere Schwingungen wieder in dieselbe zurück. Wenn nun die Erde aller Orten eine gleiche Anziehung gegen den schweren Körper ausübte, so müßte ein solcher überall mit gleicher Geschwindigkeit fallen, oder da die Schwingungen eines an einem Faden aufgehangenen schweren Körpers von den Gesetzen des Falles abhängen, so müßten die Zeiten, in welcher eine Schwingung zurückgelegt wird, überall gleich sein oder, was dasselbe, es müßten in gleichen Zeiten gleich viele Schwingungen gemacht werden. Da ferner gleichlange Pendel an demselben Orte aufgehangen in gleichen Zeiten gleichviele Schwingungen machen, so müßten an allen Orten der Erde alle Pendel, welche in einer gewissen Zeit eine Schwingung machen, gleichlang sein. Dieses würde der Fall sein, wenn die Erde eine vollkommene Kugel wäre; wenn sie aber, wie wir annehmen müssen, eine elliptischsphäroidische Gestalt hat, so muß die Anziehung am Aequator am geringsten, unter den Polen aber am größten sein, oder, was dasselbe, alle Körper müssen nach den Polen hin an Schwere zunehmen, die Zahl der Schwingungen eines Pendels muß zunehmen, oder zu Erreichung einer gleichen Zahl von Schwingungen in derselben Zeit müssen die Pendel, je weiter nach den Polen zu, desto mehr verlängert werden. Umgekehrt wird man also auch aus der nöthigen Verlängerung der Pendel auf die Gestalt der Erde schließen können.

Da es erwiesen ist, daß die Grade der Meridiane wie die Würfel der Pendellängen sich verhalten, so läßt sich, wenn die Pendellängen an verschiedenen Orten genau beobachtet sind, wie man sieht, leicht ein Schluß auf die Größe der Meridiangrade machen, und aus der Größe der Meridiane läßt sich, wie oben angegeben, aus den gemessenen Pendellängen die Abplattung der Erde berechnen. Doch sind diese Bestimmungen keineswegs so leicht, als es auf den ersten Anblick den Anschein haben kann. Sie wären es nur dann, wenn die Erde ein Körper von durchgängig gleicher Dichtigkeit wäre und wenn man die Beobachtungen an mathemathischen Pendeln, welche in luftleerem Raume ihre Schwingungen machten, vornehmen könnte. Da es aber bekanntlich ein mathematisches Pendel nicht giebt (s. d. Art. Pendel), auch die Erde nicht von durchgängig gleichmäßiger Dichte ist *), so muß man, um aus der Beobachtung des physischen Pendels nur einiger-

*) Sabine hat gefunden, daß nicht sowohl die tiefer liegenden als vielmehr die am oberflächlichst liegenden Schichten der Erde von störendem Einflusse auf die Pendelbeobachtungen sind.

maßen genaue mathematische Bestimmungen erhalten zu können, eine Menge von Correctionen anbringen, welche namentlich bei der Kleinheit der gemessenen Größen immer nur sehr wenig genaue Resultate geben können. Abgesehen von den nöthigen Correctionen würde der directe Weg dieser Pendelbeobachtungen der sein, daß man an jedem der gewählten Beobachtungsorte ein genaues Secundenpendel herstellte und dann die absolute Länge eines solchen Pendels mäße. So wohl die Herstellung eines solchen Pendels, als auch die scharfe Messung der Länge desselben, ist aber mit sehr großen Schwierigkeiten verknüpft; es ist daher leichter und gewährt eine größere Genauigkeit, wenn man nur für einen bestimmten Ort die absolute Länge des Secundenpendels mit größtmöglicher Genauigkeit fest setzt, und dann für die übrigen Beobachtungsorte aus den Schwingungen die Pendellängen berechnet. Man weiß nämlich, daß wenn von zwei Pendeln l und l', das eine in einer gewissen Zeit n Schwingungen und das andere in derselben Zeit m Schwingungen macht, dann sich verhält: $l : l' = m^2 : n^2$, woraus folgt, daß $l' = l \cdot \frac{n^2}{m^2}$. Weiß man also, wie viele Schwingungen, z. B. n, ein Secundenpendel l unter dem Aequator macht, und hat man beobachtet, wie viele Schwingungen, z. B. m, dasselbe Pendel unter einer bekannten Breite p macht, so weiß man, daß die Länge eines Secundenpendels unter der Breite p, nämlich $l' = l \frac{n^2}{m^2}$ sein müßte. Es ist also nur noch Sache der Beobachtung, die Anzahl von Schwingungen, welche ein seiner Länge nach genau bekanntes Pendel in einer bestimmten Zeit an einem seiner geographischen Lage nach genau bekannten Orte macht, zu zählen.

Die meisten und genauesten Pendelbeobachtungen sind von den Franzosen und Engländern angestellt worden. Aus den älteren Beobachtungen hat La Place die Abplattung der Erde $= \frac{1}{335,78}$ berechnet, eine Angabe, welche wegen der Ungenauigkeit der älteren Pendelmessungen nicht zuverlässig ist. In den Jahren 1807 bis 17 stellten Biot, Arago, Chair, Mathieu und Bouvard an den Hauptorten des durch ganz Frankreich gemessenen Miridians Pendelbeobachtungen an, und Biot setzte dieselben durch England bis zur Insel Unst fort. Von England aus wurden seit 1816 unter Kater Beobachtungen angestellt und Sabine stellte sowohl unter dem Aequator als an den Küsten von Norwegen, Grönland und Spitzbergen Pendelbeobachtungen an. Namentlich um zu untersuchen, ob die südliche Hälfte der Erde eine andere Gestalt als die nördliche habe, wurden Freycinet und Duperrey beauftragt, an verschiedenen Orten der südlichen Halbkugel Pendelbeobachtungen anzustellen.

Folgende Tabelle enthält einige der vorzüglichsten Pendelmessungen unter verschiedenen Breiten:

Ort	Beobachter	Breite	Länge des Secundenpendels in Par. Linien
Melleville Cap	Sabine	74° 47′	441,41
Ponoi	Mallet	67 5	441,21
Pello	Maupertuis	66 48	441,16
Brassa (Shettld.)	Sabine	60 10	441,00
Petersburg	Mallet	59 56	441,00
London	Graham und Kater	51 31	440,64
Paris	Borda	48 50	440,56
Cap der guten Hoffnung . .	Lacaille	33 55	440,13
Jamaica	Campbell	18 0	439,44
Portobello	Bouguer	9 34	439,30
Peru	Bouguer	0 0	439,21

Wenn man aus den vielen verschiedenen Beobachtungen die Abplattung der Erde berechnet, so erhält man sehr von einander abweichende Resultate. Die älteren französischen Beobachtungen geben die Abplattung der Erde $= \frac{1}{292,89}$; Biot fand dieselbe $= \frac{1}{304}$; Kater aus seinen Beobachtungen in Großbritannien $= \frac{1}{305,32}$, wogegen aus den von London bis Melville von Sabine und Parry angestellten Beobachtungen eine Abplattung $= \frac{1}{313}$ sich ergiebt. Bei weitem größer ist die Abplattung, welche aus Pendelmessungen von Freycinet unter niederen südlichen und nördlichen Breiten sich ergab, nämlich $= \frac{1}{276,6}$; und aus einer Zusammenstellung eigener und fremder Beobachtungen *) durch Sabine fand sich die Abplattung $= \frac{1}{289,1}$.

In neuerer Zeit hat Biot auch in Italien und an der dalmatischen Küste Beobachtungen angestellt und aus diesen, so wie aus den genauesten älteren Beobachtungen, folgert derselbe, daß die Annahme, die Gestalt der Erde sei diejenige, welche sich aus der Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Axe ergiebt, keinesweges durch die Beobachtungen bestätigt werde. Nach diesen ist die Erde kein regelmäßig gekrümmtes elliptisches Sphäroid, die Meridiane sind nicht unter einander gleiche regelmäßige Ellipsen und die Parallelkreise keine regelmäßigen Kreise, vielmehr muß man den Erdkörper als einen verschiedentlich unregelmäßig gekrümmten Körper annehmen. Bestimmt man indeß die Abplattung aus allen

*) Folgende Tabelle enthält dieselben zusammengestellt:

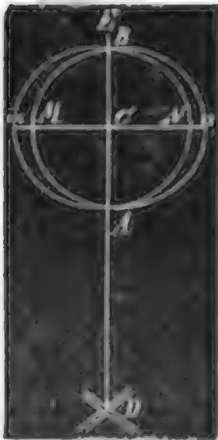
Pendelmessungen von 45° bis 90° NB., so findet sich dieselbe $= \frac{1}{306{,}33}$, aus den Pendelmessungen von 0° bis 45° NB. $= \frac{1}{276{,}38}$ und aus den Pendelmessungen von 0° bis 90° $= \frac{1}{290{,}59}$. Die Gestalt der südlichen Halbkugel scheint von der nördlichen nicht verschieden und die Schwere auf beiden gleich zu sein. Die mittlere Länge des Secundenpendels unter dem Aequator ist dann = 991,027015 und die Verlängerung desselben wegen der nach dem Pole zunehmenden Schwere = 5,161948 Millimeter.

Zu den genauesten Bestimmungen über die Abplattung der Erde gehören diejenigen, welche aus astronomischen Beobachtungen entnommen sind. Es sind nämlich von mehreren Astronomen Unregelmäßigkeiten in der Bewegung des Mondes beobachtet worden, welche La Place von der abgeplatteten Gestalt der Erde ableitet. Hiernach berechnet La Place die Abplattung der Erde $= \frac{1}{305{,}05}$ und $\frac{1}{304{,}6}$. Andere Bestimmungen aus astronomischen Beobachtungen sind von

Oerter	Breiten	a Beobachtete Pendel = 39, +	Beobachter	b Berechnete Pendel = 39, +	Differenz a — b
St. Thomas	00° 24' 41''	02074	Sabine	01520	+ 00554
Maranham	02 31 43	01214	—	01559	— 00343
Ascension	07 55 48	02410	—	01905	+ 00505
Sierra Leone . . .	08 29 28	01997	—	01961	+ 00036
Trinidad	10 38 56	01884	—	02211	— 00327
Bahia	12 59 21	02425	—	02543	— 00118
Jamaica.	17 56 07	03510	—	03440	+ 00070
Formentera	38 39 56	09176	Biot	09422	— 00246
New-York	40 42 43	10168	Sabine	10133	+ 00035
Figeac	44 36 45	11212	Biot	11506	— 00294
Bordeaux	44 50 26	11295	—	11586	— 00291
Clermont	45 46 48	11612	—	11918	— 00306
Paris	48 50 14	12894	—	12994	— 00010
Shanklin	50 37 24	13606	Kater	13617	— 00011
Dünkirchen	51 02 10	13771	Biot	13760	— 00011
London	51 31 08	13929	Kater	13926	+ 00003
Arbury H.	52 12 55	14223	—	14165	+ 00058
Clifton	53 27 43	14593	—	14590	+ 00003
Leith.	55 58 39	15547	—	15427	+ 00120
Portsoy	57 40 59	16161	—	15979	+ 00182
Unst	60 45 26,5	17164	—	16934	+ 00230
Drontheim	63 25 54	17456	Sabine	17715	— 00259
Hammerfest	70 04 05	19519	—	19546	— 00027
Grönland	74 32 19	20335	—	20326	+ 00009
Spitzbergen	79 49 58	21469	—	21134	+ 00335

v. Lindenau und von Le Gendre, nach dem ersten ist dieselbe $= \frac{1}{315{,}82}$, nach dem zweiten $= \frac{1}{318}$.

Nehmen wir einen im Weltraume schwebenden, in sich ruhenden Körper an, so wird derselbe die Kugelgestalt, wenn er dieselbe ursprünglich hatte, auch unverändert behalten und würde diese Gestalt, wenn er dieselbe vorher nicht hatte, aber flüssig war, wegen der allein bei der Kugelgestalt stattfindenden durchaus gleichmäßigen Anziehung aller Theile, von selbst annehmen. Dreht sich aber der Körper um eine durch ihn gehende gerade Linie, so werden die von dieser Axe entfernteren Theile des Körpers eine größere Schwungkraft durch die Bewegung erhalten, als die näher gelegenen, und indem auf die Theile der Erde zugleich die Anziehungskraft wirkt (welche allein verhindert, daß die einzelnen Theile der Erde vermöge der ihnen ertheilten Schwungkraft von der Erde nicht abfliegen), so muß ein bewegter flüssiger Körper eine (wegen der örtlichen Verschiedenheit der Schwungkraft von der Kugelgestalt abweichende) durch Schwungkraft und Anziehungskraft bestimmte Gestalt annehmen, wenn er im Zustande der leichten Beweglichkeit seiner Theile sich befindet, d. h. wenn er flüssig ist. Um sich von dem Einflusse der Schwungkraft auf die Gestalt eines Körpers, dessen Theile beweglich sind, durch den Versuch zu überzeugen, stecke man einen elastischen Ring A B M N auf einen Stift B D, der in der Ebene dieses Ringes durch den Mittelpunkt C desselben geht. Man drehe hierauf den Ring schnell um den Stift als um seine Axe, so werden während dieser Bewegung nur die zwei Punkte A und B, durch welche die Axe geht, oder die Pole des Ringes, in Ruhe bleiben, alle anderen Punkte desselben aber werden eine desto schnellere Bewegung annehmen, je weiter sie von jenen beiden Polen entfernt sind, oder je näher sie der Mitte M N, dem dem Aequator des Kreises, kommen. Da mit der Zunahme der Bewegung auch die Schwungkraft wächst, so wird also auch diese von den Polen nach dem Aequator zu wachsen; und da der Kreis vorausgesetztermaßen elastisch ist, so werden alle Punkte des Umkreises desselben desto mehr von der Axe sich entfernen, je näher diese Punkte selbst dem Aequator M N sind, und der Anfangs kreisrunde Ring A M B N wird jetzt eine elliptische, an seinen Polen A und B abgeplattete Gestalt A m B n annehmen. Hierauf beruht die sinnreiche Construction der Bohnenberger'schen Schwungmaschine, welche in Bewegung gesetzt, das Entstehen der Abplattung sehr deutlich zeigt.



Da die Betrachtung der Oberfläche der Erde, so tief hinab wir dieselbe kennen, die Lagerungen der verschiedenen Erdschichten, das Vorkommen von versteinerten Seethieren in dem Inneren hoher Berge 2c. klar dafür sprechen, daß die Erde einstens lange vor dem Beginn der Geschichte in einem flüssigen Zustande gewesen sei, so läßt sich hieraus mit Gewißheit schließen, daß dieselbe vermöge ihrer Umdrehung eine abgeplattete Gestalt angenommen haben müsse. Newton war der erste, welcher von solchen Betrachtungen, wie die oben angeführten, ausgehend behauptete, daß die Erde gegen ihre Pole zu abgeplattet sein müsse. Unter der Voraussetzung einer durchgängig gleichmäßigen Dichtigkeit der Erde berechnete Newton die Abplat-

tung derselben $= \frac{1}{229}$, ein Resultat, welches, wie man sieht, nicht mit den Beobachtungen übereinstimmt, dessen Unrichtigkeit aber lehrt, daß die gemachte Voraussetzung durchgängig gleichmäßiger Dichtigkeit unrichtig sei. Andere Mathematiker haben unter modificirten Voraussetzungen andere Resultate gefunden. Le Gendre und La Place und nachher Ivory setzten voraus, daß die Dichtigkeit der Erde vom Centrum aus gleichmäßig abnehme, und indem letzterer die Dichte des Erdkernes $= 5{,}48$, die der Oberfläche der Erde $= 2{,}88$ annahm, fand derselbe die Abplattung der Erde $= \frac{1}{289}$.

Aus der Verschiedenheit der Resultate bei Berechnung der Abplattung der Erde aus einer Menge von Beobachtungen, die von den ausgezeichnetsten Physikern und Astronomen mit größtmöglicher Genauigkeit angestellt worden, müssen wir entweder mit Biot folgern, daß die Gestalt der Erde bedeutend von der eines Revolutions-Ellipsoids abweiche, oder wir müssen annehmen, daß ein bis jetzt noch nicht in Rechnung gebrachter örtlich verschiedener Umstand bei Anstellung der Beobachtungen von Einfluß sei. Ein solcher Umstand kann die an den verschiedenen Orten verschiedene Dichtigkeit der Erdrinde sein. Daß die Erde nicht durchgängig von gleicher Dichtigkeit sei, geht schon aus der von Newton angestellten Berechnung der Abplattung hervor, welche unter Voraussetzung gleichförmiger Dichte der Erde die Abplattung $\frac{1}{229}$ giebt, welches mit den Beobachtungen nicht übereinstimmt. Nehmen wir aber an, daß die Erde von örtlich verschiedener Dichte sei, so muß daraus eine Ablenkung des Pendels von derjenigen Linie stattfinden, welche bei gleichförmiger Dichte der Erde dasselbe als lothrechte Linie anzeigen würde. Da aber alle Beobachtungen (sowohl die an Pendeln, als die astronomischen Gradmessungen) welche zu Bestimmung der Gestalt der Erde angestellt werden, auf die lothrechte Linie im Beobachtungsorte bezogen werden, so müssen nothwendig die aus allen Beobachtungen folgenden Resultate für die Gestalt der Erde, nach dem Einflusse verschieden dichter Erdschichten in den verschiedenen Beobachtungsorten, mit einem Fehler behaftet sein. Sonach kann sehr wohl die Gestalt der Erde die eines regelmäßigen Revolutions-Ellipsoids sein (Berge und Thäler kommen, wie schon gesagt, bei der Kleinheit derselben im Verhältniß zum ganzen Erdkörper gar nicht in Betracht) *), und Muncke giebt für die Ausmessungen

*) Gelpke sagt: So ungeheuer groß uns die Masse und Größe der Berge zu sein scheint, so sind sie doch gegen die Erde nicht größer als Sandkörner gegen eine Kugel von von 21 Fuß im Umkreise oder 7 Fuß im Durchmesser. Denn vergleichen wir z. B. den Chimborasso in Peru im südlichen Amerika, welcher mit einer senkrechten Höhe von über 20000 Fuß über die Meeresfläche sich erhebt, mit dem Durchmesser unseres Wohnortes, welcher 1720 deutsche Meilen lang ist, so macht seine Höhe kaum den 2000sten Theil von diesem, und vergleichen wir ihn mit dem Umfange oder Umkreise der Erde, welcher 5400 deutsche Meilen lang ist, so macht er hiervon nicht mehr als den 6000sten Theil aus. Einen nicht größeren Theil nimmt aber auch ein Sandkorn von der Dicke einer halben Linie auf einer Kugel ein, deren Umkreis 21 Fuß beträgt. Daher ist der höchste Berg auf unserem Wohnorte nicht größer als ein solches unbedeutendes Sandkorn auf einer solchen Kugel.

der Erde unter dieser und der Voraussetzung, daß dieselbe eine Abplattung $= \frac{1}{290}$ (oder zunächst nach Sabine's Versuchen $= \frac{1}{289{,}1}$) habe, folgende Werthe an:

Halbmesser des Aequators	3271952	Toisen
Umfang des Aequators	20558280	"
Halbe Axe	3260643	"
Halbmesser eines Kreises von der Größe eines Meridians	3266295	"
Halbmesser einer Kugel vom Inhalte der Erde . .	3268175	"
Ein Grad im Aequator	57106,334	"
Ein Grad unterm Aequator *)	56711,963	"
Ein Grad unter 45° NB.	57007,000	"
Ein Grad unter den Polen	57304,513	"
$^1/_{90}$ eines Meridian-Quadranten	57006,442	"
Krümmungshalbmesser für 45° **)	3266260	"
$\frac{a+b}{2}$ ***)	3266298	"
Länge eines Meridians	5390,668	Meilen
Länge eines Quadranten	1347,667	"

Muncke bemerkt, daß es bei der Größe der Erdkugel kaum erforderlich sei, den Inhalt und die Oberfläche derselben mit größter Schärfe anzugeben, und man mit hinlänglicher Genauigkeit sie als eine Kugel betrachten könne, deren Halbmesser das arithmetische Mittel zwischen der halben großen und kleinen Axe ist (die Summe beider dividirt durch 2). Rechnet man genauer, so beträgt der Umfang der Erde nach der Größe des angenommenen Halbmessers 5400 Meilen, ihr Durchmesser 1718,834 Meilen, also ihr Halbmesser 859,417 Meilen, wofür man in runder Zahl 860 anzunehmen pflegt. Nennt man (wie S. 882) b die halbe kleine Axe der den abgeplatteten Erdkörper erzeugenden Ellipse, e die Excentricität, so ist die Oberfläche einer Zone vom Aequator an bis zur geographischen Breite $\varphi = 2\, b^2\, \pi \sin \varphi\, (1 + {}^2/_3\, e^2 \sin^2 \varphi + {}^3/_5\, e^4 \sin^4 \varphi + {}^4/_7\, e^6 \sin^6 \varphi + \ldots)$ Hieraus folgt, die Bessel'schen Bestimmungen b = 3261139,3284 Toisen, log e = 8.9122052,1, die geogr. Meile = 3807,235 Toisen zu Grunde legend, für die Erdoberfläche die Größe von 9261238,314 geogr. Quadrat-Meilen und für den Cubikinhalt der Erde die Größe von 2650184445,1 geogr. Cubikmeilen ****).

Schon in dem Früheren ist im Allgemeinen angegeben worden, wie die Grade der Meridiane, weil diese nicht Kreise, sondern Ellipsen sind, nach den Polen zu

---

*) D. h. ein Grad eines Meridianes unter dem Aequator.

**) Vergl. S. 877 u. 884.

***) a = Halbmesser des Aequators und b = halbe Axe der Erde; (a + b) : 2 also das Mittel aus der halben großen und kleinen Axe.

****) Für die Annahme, daß die halbe Axe der Erde = 3271691 Toisen und der Halbmesser des Aequators = 3260964 Toisen, also die Abplattung der Erde $= \frac{1}{304}$ sei, giebt Littrow folgende Größenbestimmungen in Bezug auf die Erde.

an Größe immer mehr zunehmen, und wie die (unter sich für jeden einzelnen Parallelkreis gleichen) Grade der Parallelkreise mit der Annäherung dieser an den Aequator an Größe abnehmen müssen, (weil der diese Kreise beschreibende Halbmesser immer kleiner wird); es ist aber zu Berechnung der Entfernungen der verschiedenen Orte der Erde aus ihrer geographischen Lage nöthig, die Größe eines jeden Parallelkreises, so wie der Grade der Meridiane für die verschiedenen Breiten zu wissen.

Solche Größenbestimmungen werden in geographischen Meilen gegeben, deren 15 auf einen Grad des Erdäquators gehen. Es ist nun nach den Bessel'schen Bestimmungen (S. 883) die Länge einer geographischen Meile = 3807,235 Toisen und man hat daher:

Breite	Grad im Merid. geographische Meilen	Grad im Parallel geographische Meilen
0°	14,8999	15,0000
10	14,9044	14,7736
20	14,9174	14,1009
30	14,9373	13,0012
40	14,9617	11,5065
45	14,9748	10,6243
50	14,9878	9,6608
60	15,0125	7,5188
70	15,0326	5,1455
80	15,0457	2,6132
90	15,0468	0

Halbmesser eines Kreises, welcher mit dem elliptischen Meridian einerlei Umfang hat, 3266330; Halbmesser einer Kugel, welche mit der elliptischen Erde, deren halbe Axen a und b die angezeigten Werthe haben, einerlei körperlichen Inhalt hat, 3268111 Toisen.

Nimmt man die Erde als eine Kugel an, deren Halbmesser gleich der letzten Zahl oder gleich 3268111 Toisen beträgt, so ist die Länge der Peripherie eines größten Kreises dieser Kugel P = 20534143^{t}, also dessen 5400ster Theil oder eine deutsche geographische Meile = 3802^{t},6191 und daher auch der Halbmesser jener Kugel R = 859,4366 geogr. Meilen; die Oberfläche dieser Kugel aber = 134215710 Millionen Quadrat-Toisen oder = 9281916 Quadratmeilen; endlich der körperliche Inhalt derselben gleich 146210540 Billionen Cubik-Toisen, oder 2659073060 Cubik-Meilen. — Ein Pariser Cubik-Fuß reines Regenwasser wiegt 61,316 Wiener Pfunde, also eine Cubik-Meile (die Meile nach dem Vorhergehenden zu 3802,6191 Toisen oder zu 22815,7146 Par. Fuß) 7282590 Millionen Wiener Centner. Eine Wassermasse von gleicher Größe mit der Erde würde also 19364940000 Billionen Wiener Centner wiegen, und da, nach den weiter unten (s. d. Folg.) zu erklärenden Beobachtungen Maskelyne's, die Dichte der Erde zur Dichte des Regenwassers sich wie 9 zu 2 verhält, so wiegt die ganze Erde 87142230000 Billionen Wiener Centner. — Nehmen wir an, daß ein Sandkorn eine Par. Linie lang, breit und hoch sei, so würde, wenn die Toise 600 Linien hat, eine Cubik-Toise 216 Millionen, eine Cubik-Meile 11876871 Billionen, und die ganze Erde 31581 Quadrillionen solcher Sandkörner enthalten, und wenn man auch in jeder Zeitsecunde zehn solcher Körner auf einen Wurf aufzählen könnte, so würde man in einem Jahre von 365¼ Tagen erst 315576000000 Körner, die ganze Anzahl von 31581 Quadrillionen dieser Körner aber, welche die Erde enthält, erst in 1000757 Billionen Jahren zählen können, oder man würde in den 6000 Jahren, die nach der gewöhnlichen Rechnung seit der Entstehung der Erde verflossen sind, noch nicht den 200 Billionsten Theil jener Sandkörner gezählt haben. Und doch ist die Erde nur einer der kleineren von den uns bekannten Himmelskörpern.

Die geographische Lage der Orte auf der Erde selbst, wird, wie schon oben S. 874 angegeben, durch den Meridian und den Parallelkreis, unter welchem sie liegen, bestimmt. Nach der gemessenen geographischen Lage der wichtigeren Orte werden die Karten gezeichnet, daher es wichtig ist dieselbe zu kennen. Folgende Tabelle, deren Angaben aus K. L. v. Littrow's Verzeichniß, enthalten in Gehler's Phys. Wört. n. Ausg. X. Bd. 3. Abthlg., entlehnt sind, giebt die Lage der wichtigsten Orte der Erde an, wobei zu bemerken, daß die südlichen Breiten mit S. bezeichnet sind und als erster Meridian der von Ferro angenommen ist. Vergl. d. Art. Breite und Länge, geographische.

Oerter	Oestliche Länge von Ferro			Nördliche Breite		
Aachen	23°	44′	17″	50°	46′	34″
Aarhuß	27	52	22	56	9	27
Abo	39	57	7	60	26	58
Adrianopel	44	15	18	41	41	27
Agram	33	38	45	45	48	54
Aix	23	7	3	43	31	31
Alexandrien	47	32	35	31	12	53
Algier	20	44	10	36	47	20
Altona, (Sternwarte)	27	36	15	53	32	45
Amiens	20	2	4	49	53	43
Amsterdam	22	32	54	52	22	30
Ancona	31	10	11	43	37	42
Angers	22	53	34	47	28	17
Anholt (Leucht.)	29	18	46	56	44	17
Antibes	24	47	31	43	35	9
Antigua (Fort James)	315	47	30	17	8	0
Antwerpen	22	3	55	51	13	14
Arensburg	40	7	15	58	15	10
Arendahl	26	30	10	58	27	0
Astrachan	65	45	0	46	20	53
Augsburg	28	33	53	48	21	42
Autun	21	57	47	46	56	43
Avignon	22	28	15	43	57	8
Azov	57	4	54	47	6	48
Bagdad	62	2	15	33	19	50
Barnaul	101	43	27	53	19	21
Barcelona	20	9	11	41	22	26
Basel	25	15	23	47	33	25
Batavia	124	32	57	6	8	55 S.
Bayonne	23	45	57	43	29	29
Benares (Sternwarte)	100	35	28	25	18	33
Bergamo	27	20	53	45	41	55
Bergen (Norwegen)	22	57	39	60	24	0

Oerter	Oestliche Länge von Ferro			Nördliche Breite		
Berlin (Sternwarte)	31°	3′	30″	52°	30′	16″
Bern	25	6	11	46	57	6
Besançon	23	41	56	47	13	46
Bologna (Sternwarte)	29	0	36	44	29	54
Bonn	24	45	45	50	43	45
Bordeaux	17	5	4	44	50	19
Boulogne (Wachtthurm)	19	16	35	50	43	33
Braunschweig	28	11	6	52	16	11
Bremen	26	28	6	53	4	48
Breslau (Sternwarte)	34	42	9	51	6	56
Brest	13	10	25	48	23	25
Brüssel (Sternwarte)	22	1	32	50	51	11
Buenos Ayres	319	15	48	34	36	18 S.
Cadix (Sternwarte)	11	22	23	36	32	0
Cairo	48	55	12	30	2	4
Calais	19	31	0	50	57	33
Calcutta	106	0	3	22	33	11
Cambridge	17	45	30	52	12	52
Cambridge (Nordam., Univ.) . .	306	31	58	42	22	21
Cap Horn	310	23	36	55	58	41 S.
Cap d. g. Hoffnung (Sternwarte) .	36	8	21	33	56	3 S.
Carcassonne	20	0	46	43	12	55
Cassel	27	9	44	51	19	7
Casan	67	9	30	55	43	58
Celle	27	44	32	52	37	31
Charkow	53	56	45	49	59	27
Christiania (Sternwarte)	28	23	6	59	54	42
Coimbra	9	14	39	40	12	30
Colmar (Frankreich)	25	1	20	48	4	41
Constantinopel	46	38	50	41	0	16
Cracau (Sternwarte)	37	37	15	50	3	50
Cremona	27	41	22	45	8	1
Danzig (Sternwarte)	36	20	53	54	21	18
Darmstadt	26	19	23	49	52	21
Dieppe	18	44	29	49	55	35
Domingo	307	40	8	15	18	23
Dorpat (Sternwarte)	44	23	15	58	22	47
Dover	18	58	59	51	7	46
Dresden (mathem. Salon)	31	23	52	51	3	22
Drontheim	28	3	15	63	25	50
Dublin (Sternwarte)	11	19	7	53	23	13
Dünaburg	44	9	37	55	43	4
Dünkirchen	20	2	23	51	2	9

Oerter	Oestliche Länge von Ferro			Nördliche Breite		
Duisburg	24°	25′	39″	51°	26′	10″
Edinburg (Sternwarte)	14	28	44	55	57	23
Erfurt	28	42	15	50	58	49
Erlangen	28	40	4	49	35	48
Ferro, Insel (Westspitze)	359	30	0	27	45	0
Fiume	32	6	21	45	19	39
Florenz (Cathedrale)	28	55	6	43	46	36
Frankfurt a. M.	26	20	44	50	6	42
Frankfurt a. d. O.	32	13	0	52	22	8
Galita (östl. Pic)	26	36	30	37	31	14
Genf (alte Sternwarte)	23	48	40	46	12	0
Genua	26	34	0	44	24	18
Gibraltar	12	18	58	36	6	42
Glasgow	13	23	0	55	51	32
Goa	91	30	6	15	29	30
Göttingen (Sternwarte)	27	36	28	51	31	48
Gotha (Seeberg)	28	23	44	50	56	5
Gothenburg	29	37	51	57	42	28
Greenwich (Sternwarte)	17	39	37	51	28	39
Greifswald	31	35	25	54	15	4
Grenoble	23	23	20	45	11	57
Grodno	41	29	57	53	40	44
Guadaloupe (südl. Cap.)	259	23	57	28	53	0
Halle	29	37	30	51	29	38
Hamburg (Sternwarte)	27	38	9	53	33	5
Hannover	27	24	0	52	22	25
Harlem	22	18	7	52	22	54
Havre de Grace	17	46	15	49	29	16
Helena (St.)	11	56	46	15	55	26 S.
Helmstädt	28	41	0	52	13	58
Helsingborg	30	21	52	56	2	56
Helsingör	30	16	25	56	2	11
Jaroslawl	57	50	0	57	37	33
Jassy	45	14	21	47	10	24
Jena (Sternwarte)	29	13	34	50	56	9
Jeniseisk	109	56	24	58	27	17
Jersey	15	33	36	49	11	18
Jerusalem	52	51	15	31	47	47
Irkutsk	121	55	57	52	17	16
Kaluga	53	56	57	54	30	27
Königsberg (Sternwarte)	38	9	45	54	42	50
Kopenhagen (Sternwarte)	30	14	35	55	40	53
Lambhuus, Island	355	40	39	64	6	17

Oerter	Oestliche Länge von Ferro			Nördliche Breite		
Lausanne	24°	17′	57″	46°	31′	23
Leipzig (Sternwarte)	30	1	52	51	20	20
Leyden (Sternwarte)	22	9	0	52	9	28
Lilienthal (Sternwarte)	26	34	30	53	8	28
Lima	300	32	15	12	2	34 S.
Lipari	32	35	45	38	29	19
Lissabon (Sternwarte)	8	31	18	38	42	24
London (St. Paul)	17	33	40	51	30	49
Macao	131	13	53	22	11	25
Madera (Funchal)	0	44	51	32	37	40
Madras (Sternwarte)	97	56	57	13	4	9
Madrid	13	57	45	40	24	57
Magdeburg	29	18	30	52	8	4
Mailand (Sternwarte)	26	50	56	45	28	1
Malacca	119	54	36	2	11	24
Malta (Sternwarte)	32	11	6	35	53	50
Mannheim (Sternwarte)	26	7	29	49	29	14
Marseille (Sternwarte)	23	1	54	43	17	50
Masulipatnam	98	47	48	16	9	6
Melibocus	26	18	19	49	43	33
Messina (Famal)	33	14	30	38	11	3
Mexico	278	34	30	19	25	45
Montpellier (Sternwarte)	21	32	30	43	36	16
Moskau (Sternwarte)	55	13	44	55	45	21
München (Bogenhausen)	29	16	15	48	8	45
Nangasaki	147	31	36	32	45	0
Narbonne	20	40	0	43	11	8
Neapel (Capo di Monte)	31	55	7	40	51	47
New-York	303	28	39	40	42	41
Niersteiner Warte	25	59	44	49	52	45
Nimes	22	0	46	43	50	36
Nürnberg	28	44	27	49	27	30
Ofen (neue Sternwarte)	36	42	46	47	29	10
Orenburg	72	46	14	51	45	31
Orleans	20	25	35	47	54	9
Oxford (Sternwarte)	16	24	15	51	45	40
Palermo (Sternwarte)	31	0	56	38	6	36
Paris	20	0	0	48	50	13
Pau	17	17	12	43	17	44
Pavia (meteor. Observ.)	26	49	32	45	11	1
Peking (kaiserl. Observ.)	134	8	30	39	54	13
Pello	41	38	15	66	48	16
Perpignam	20	33	55	42	41	55

Oerter	Oestliche Länge von Ferro			Nördliche Breite		
Petersburg (Sternw. d. Acad.) .	47°	57′	57″	59°	56′	31″
Peter-Pauls-Hafen	176	19	56	53	0	59
Philadelphia (Sternwarte) . . .	302	28	59	39	57	9
Pic auf Insel Pico	349	11	24	38	26	12
Plymouth (neue Kirche). . . .	13	32	20	50	22	20
Pondichery	97	31	30	11	55	41
Ponoi.	58	49	9	67	4	30
Portsmouth (Sternwarte) . . .	16	33	29	50	48	3
Prag (Sternwarte)	32	5	39	50	5	19
Preßburg.	34	46	17	48	8	34
Quebeck	306	24	36	46	49	12
Rastadt	25	52	11	48	51	29
Regensburg	29	45	29	49	1	0
Rio Janeiro	334	30	0	22	54	23 S.
Rom (Sternwarte)	30	8	27	41	53	52
Rotterdam	22	8	59	51	55	19
Rouen	18	45	28	49	26	29
Salzburg.	30	42	44	47	47	45
Saratow	63	44	15	51	31	34
Schleswig	27	13	53	54	31	8
Slough (Herschel's Sternwarte) .	17	3	37	51	30	20
Smyrna	44	48	6	38	25	38
Speyer (Sternwarte)	26	6	15	49	18	55
Stade.	27	8	32	53	36	8
Stockholm (Sternwarte)	35	43	19	59	20	34
Straßburg (Sternwarte)	25	24	51	48	34	40
Stromboli	32	53	19	38	46	41
Surate	90	41	36	21	11	0
Sweaburg	42	39	14	60	8	23
Syrakus	32	57	35	37	2	58
Teneriffa, Pic	1	1	1	28	16	21
Tobolsk	85	56	15	58	12	39
Tornea	41	53	30	65	50	50
Toulon (Sternwarte)	23	35	37	43	7	28
Toulouse (Sternwarte)	19	6	13	43	35	40
Tripolis	30	51	18	32	53	40
Tübingen (Sternwarte). . . .	26	42	51	48	31	12
Ulm	27	39	20	48	23	56
Upsala (Sternwarte)	35	18	16	59	51	34
Uranienburg	30	21	32	55	54	26
Utrecht	22	47	11	52	5	28
Venedig (Sternwarte)	30	1	3	45	25	47
Versailles.	19	47	16	48	47	56

Oerter	Oestliche Länge von Ferro	Nördliche Breite
Warasdin	34° 0′ 18″	46° 18′ 29
Warschau (Sternwarte)	38 41 51	52 13 5
Wien (Sternwarte)	34 2 36	48 12 36
Wittenberg	30 18 39	51 52 13
Würzburg	27 35 47	49 47 39
York	16 35 8	53 57 30
Zürich (Sternwarte)	26 12 47	47 22 31

Wenn man aus der bekannten Breite und Länge zweier Orte A und B ihre kürzeste Entfernung von einander berechnen will, so kann man für diesen Zweck die Erde unbedenklich als eine Kugel annehmen, auf der 1 Grad 15 geographische Meilen beträgt. Sei nun P der Nordpol der Erdkugel, A der Ort, dessen östliche geographische Länge λ von Ferro kleiner als die λ' des Ortes B ist; ferner sei PA ein Theil des Meridiankreises von A, PB ein Theil des Meridiankreises von B. Alsdann ist offenbar $\angle$ ABP $= \lambda' - \lambda$, AP $= 90^0 - \varphi$ und PB $= 90^0 - \varphi'$, wo φ und φ' die geographischen nördlichen Breiten von A und B bezeichnen, und AB die gesuchte kürzeste Entfernung der Orte A und B von einander. Sei AB $= \Delta$. Nach einer bekannten Formel der spärischen Trigonometrie aber ist nun:

$$\cos \Delta = \cos (90^0 - \varphi') \cos (90 - \varphi) + \sin (90^0 - \varphi,) \sin (90^0 - \varphi) \cos (\lambda' - \lambda),$$

d. h.

$$\cos \Delta = \sin \varphi' \sin \varphi + \cos \varphi' \cos \varphi \cos (\lambda' - \lambda),$$

aus welcher Gleichung Δ in Graden rc. gefunden wird. Kennt man so Δ, dann ist, wenn Δ jetzt in Graden und deren Decimaltheilen genommen wird: 15 Δ die gesuchte, in geographischen Meilen und deren Decimaltheilen ausgedrückte, kürzeste Entfernung der Orte A und B von einander. — Liegen A und B in demselben Mittagskreise, so ist $\lambda' - \lambda = 0$ und man erhält aus der Gleichung für cos Δ den Ausdruck

$$\cos \Delta = \sin \varphi' \sin \varphi + \cos \varphi' \cos \varphi = \cos (\varphi' - \varphi)$$

also $\Delta = \varphi' - \varphi$.

Liegen jedoch A und B in demselben Parallelkreise, so ist $\varphi' = \varphi$, und man erhält aus der Gleichung für cos Δ den Ausdruck

$$\cos \Delta = \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi \cos (\lambda' - \lambda).$$

Setzt man hier $\sin^2 \varphi$ sin vers $(\lambda' - \lambda) = \cos x$, so ist

$$\cos \Delta = 2 \cos {}^1/_2 (x + \lambda' - \lambda) \cos {}^1/_2 (x - \lambda' + \lambda).$$

Die in den verschiedenen Ländern gebräuchlichen Meilenmaße beziehen sich zum Theil ursprünglich auf die Länge eines Grades im Aequator, alle aber sind später um sie genau unter einander vergleichen zu können auf diese Größe bezogen worden. Am allgemeinsten im Gebrauch ist die **geographische Meile**, auch **deutsche Meile** genannt, weil die niederländischen oder deutschen Schiffer sich

ihrer bei Zeichnung der See- und Landkarten bedienten. Für die sonstigen aber keineswegs hinlänglich genau bestimmten Meilen giebt Muncke folgende Tabelle an:

Namen derselben	Sollen halten	Werden gerechnet auf 1 Grad	Enthielten demnach in Par. Fuß
Arabische	— — —	56,67	6045,7
Baiersche, kleine . . .	— — —	14,15	24212,7
„ große . . .	— — —	8,69	39425,8
Chinesische neue Li. . .	— — —	193,40	1771,5
Churbraunschweigische .	2811,2 rheinl. Ruth.	10,52	32569,4
Dänische	12000 dänische Ellen	14,79	23165,0
Französische Lieue . . .	— — —	25,00	13704,4
„ Seemeile. .	— — —	20,00	17130,5
Großbritann. neue . .	1760 Yards	69,12	4956,6
„ Seemeile .	— — —	60,00	5710,1
„ League . .	— — —	20,00	17130,5
Hannöversche	32000 Calenb. Fuß	11,89	28800,0
Holländische	— — —	19,00	18032,1
Italienische	1000 geogr. Schritte	60,00	5710,1
Jüdische alte	2000 bibl. Ellen	100,80	3398,9
Niederländ. Stunde . .	— — —	19,67	17117,8
„ Seemeile. .	— — —	20,00	17130,5
Nürnberger	— — —	13,10	26153,5
Oestreichische	— — —	7,48	45803,5
Persische	— — —	22,50	15227,1
Polnische	— — —	20,00	17130,5
Portugiesische	— — —	18,00	19034,0
Preußische.	2000 Ruthen	14,78	23113,0
Russische Werst . . .	1500 Arschinen	104,30	3284,8
Sächsische, gemeine . .	12000 Dresd. Ellen	16,21	20907,8
„ Polizei-M. .	16000 „ „	12,29	27877,1
Schottländische . . .	1147 Toisen	49,80	6882,0
Schwäbische	— — —	12,00	28550,8
Schwedische	18000 Ellen	10,41	32911,6
Schweizerische	— — —	13,30	25760,2
Spanische	5000 Veras	26,63	12882,0
Türkische Berri . . .	— — —	66,67	5138,9
„ Seemeile . .	— — —	86,40	3965,4
Ungarische	— — —	13,30	25760,2

Die Erde ist einer von den Körpern, welche in regelmäßigen Bahnen sich um die Sonne, von welcher sie Licht und Wärme empfangen, herum bewegen, d. h. ein Planet. Von den uns bekannten Planeten stehen nur zwei, Mercur und

Venus, der Sonne näher als die Erde; in Bezug auf die Erde heißen dieselben die unteren Planeten, während man die übrigen als obere Planeten bezeichnet; diese sind nach ihrem mittleren Abstande von der Sonne geordnet folgende: Mars, Flora, Melpomene, Victoria, Vesta, Iris, Metis, Hebe, Parthenope, Fortuna, Massilia, Lutetia, Thetis, Egeria, Asträa, Irene, Thalia, Eunomia, Juno, Ceres, Pallas, Calliope, Psyche, Hygiea, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Wie manche dieser Planeten, hat die Erde ebenfalls einen um sie und mit ihr zugleich um die Sonne sich bewegenden Begleiter, (Trabanten) den Mond (s. d. Art.). Die Erde hat eine zweifache Bewegung, vermöge welcher sie in ihrer Bahn fortrückt und ihre Stellung gegen die Sonne ändert, nämlich um sich selbst oder vielmehr um eine durch ihren Mittelpunkt gehende gerade Linie, Axe, und um die Sonne.

Schon der Umstand, daß aus der Annahme, die Erde sei ein Planet und bewege sich also um sich selbst und um die Sonne, alle Erscheinungen, welche aus dem Verhältnisse der Erde zu den übrigen Weltkörpern sich ergeben, eine so vollständige Erklärung erhalten, daß man diese Erscheinungen selbst mit der größten Schärfe berechnen und vorausbestimmen kann, spricht für die Richtigkeit dieser Annahme.

Aristarch von Samos hatte schon um das Jahr 220 v. Chr. gelehrt, daß die Erde sich um ihre Axe und zugleich um die Sonne herum bewege; doch fand diese Lehre nicht einmal bei den Gelehrten allgemeine Annahme. Der erste aber, welcher dieselbe auf eine bestimmte und wissenschaftlich begründete Weise aussprach, war Nicolaus Copernicus, der 1472 zu Thorn geboren und nachher Domherr zu Frauenburg in Preußen war. Derselbe behauptete, daß die Sonne still stehe und die Erde so wie alle Planeten um sie, als um den Mittelpunkt ihrer Bahnen, sich herum bewege und zwar in bestimmten Zeiten in einerlei Richtung von Westen nach Osten. Copernicus machte diese seine Lehre erst wenige Tage vor seinem Tode im Jahre 1543 durch ein zu Nürnberg gedrucktes Werk öffentlich bekannt. Die Lehre des Copernicus wurde besonders durch Galiläo Galiläi (1565 zu Pisa geb.) aufgefaßt und wissenschaftlich begründet.

Bei einer genauen Ueberlegung erscheint es schon an und für sich widersinnig, daß nach der früheren Meinung die Sonne und die Millionen von Weltkörpern, welche wir als leuchtende Punkte am Himmel erblicken, die, um aus so ungeheurer Entfernung nur gesehen werden zu können, meist größer als die Sonne sein müssen, um die kleine Erde sich herum bewegen sollen, zumal wenn man noch bedenkt, wie ungeheuer die Geschwindigkeit sein müßte, mit der diese fernen Weltkörper sich bewegen müßten, um binnen 24 Stunden um die Erde herum zu kommen. Aber abgesehen von dem schmeichelnden Gefühle, daß sich die ganze Welt um die kleine Erde, welche der Mensch beherrscht, um für diesen Tag und Nacht zu machen, sich herumdrehen sollte, so wurden gegen die copernicanische Weltansicht noch Einwendungen gemacht, welche erst durch eine vollständigere Naturerkenntniß widerlegt werden konnten. So wendete man gegen die Umdrehung der Erde dasselbe ein, was auch gegen die Kugelgestalt derselben vorgebracht wurde: daß nämlich die Menschen und alle Gegenstände auf der Erde, wenn sie sich drehte, nothwendig von ihr herunterfallen müßten. Wie diese Meinung durch eine richtigere Erkenntniß von dem, was oben und unten sei, wiederlegt wird, ist schon oben S. 869 gesagt worden. Man meinte ferner, daß wenn sich die Erde von Westen nach Osten

umdrehe, so müsse ein schwerer Körper, den man von der Höhe eines Thurmes auf der Westseite desselben herabwürfe, nicht, wie doch geschieht, am Fuße des Thurmes, sondern etwas westwärts von dem Thurme niederfallen, weil während der Zeit, in der er fiele, die Erde unter ihm weg nach Osten sich gedreht haben würde. Die Physik lehrt aber, daß ein Körper die Bewegung eines anderen Körpers, dessen Bewegung er vorher eine Zeitlang getheilt hat, auch noch weiterhin theilt, sobald er durch eine neue Kraft von ihm entfernt wird, wenn diese nicht die erste Bewegung direct aufhebt. Beispiele sind im Art. Bewegung angeführt; und man erinnere sich hier nur daran, daß wenn man auf einem schnellsegelnden Schiffe einen Ball senkrecht in die Höhe wirft, dieser wieder auf das Schiff zurückfällt, nicht aber, wie man vielleicht meinen möchte, in das Wasser fällt, weil, während er sich in der Luft befindet, das Schiff unter ihm wegsegeln müßte. So dürfen auch Kunstreiter, welche auf schnell sich bewegenden Pferden über vorgehaltene Stangen springen, keinesweges nach vorn springen, sondern sie springen gerade in die Höhe, und indem sie außer dieser Bewegung auch noch die Bewegung des Pferdes theilen, fliegen sie unwillkürlich über die vorgehaltenen Gegenstände hinweg und kommen wieder auf den Sattel des Pferdes zu stehen; wenn sie aber wie auf flacher Erde nach vorn springen wollten, so würden sie auf den Hals des Pferdes kommen. Aehnlich verhält es sich nun auch mit dem von einem Thurme geworfenen Steine: er fällt ganz so, wie wenn die Erde unbewegt wäre, indem er die Bewegung der Erde von Westen nach Osten fortwährend theilt.

Wenn man aber von einer bedeutenden Höhe einen schweren Körper herabwirft, so weicht er dennoch von der senkrechten Linie ab, aber keinesweges nach Westen, sondern im Gegentheile nach Osten und in dieser Abweichung liegt kein Wiederspruch gegen das eben Gesagte, vielmehr ist sie eine der stärksten Beweise für die Drehung der Erde von Westen nach Osten. In der neuesten Zeit haben die zuerst von Foucault in Paris angestellten Pendelversuche den augenscheinlichsten Beweis für die Rotation der Erde von Westen nach Osten gegeben. Wir werden im Artikel Pendel hierauf näher zurückkommen.

Die Erde dreht sich um ihre Axe, und es ist leicht einzusehen, wie die näher an der Axe liegenden Theile der Erde eine geringere Geschwindigkeit haben müssen, als die weiter von ihr entfernt liegenden. Binnen 24 Stunden nämlich gehen alle Theile der Erde um die Axe derselben herum, d. h. jeder derselben beschreibt einen Kreis, dessen Mittelpunkt in der Axe liegt. Derjenige Kreis, den entfernt von der Axe liegende Punkte beschreiben, muß natürlich viel größer sein als derjenige, den näher liegende Punkte zu beschreiben haben. Der Punkt, welcher am entferntesten liegt, muß folglich mit der größten Geschwindigkeit um die Axe sich herumbewegen, weil er den weitesten Weg binnen 24 Stunden zurückzulegen hat. Ein Körper, welcher sich an einem hochgelegenen Orte der Erde befindet, theilt die Geschwindigkeit mit welcher dieser Ort sich um die Erdaxe herumbewegt; indem er nun herabfällt, bewegt er sich mit dieser dem hochgelegenen Orte eigenthümlichen Geschwindigkeit von Westen nach Osten, während alle Punkte der Ebene, nach welcher er fällt, mit geringerer Geschwindigkeit von Westen nach Osten sich bewegen. Nach Maßgabe der größeren Geschwindigkeit des hochgelegenen Ortes vor der des niedriggelegenen muß folglich der schwere Körper von der senkrechten Linie abweichend weiter nach Osten fallen.

Zu den mißlungenen Versuchen, aus der Abweichung frei herabfallender Körper von der genau senkrechten Linie einen Schluß für oder gegen die Bewegung der Erde zu machen, gehören diejenigen, welche Mersenne und Moutier angestellt haben. Dieselben gruben Kanonen senkrecht in die Erde und warfen Kugeln aus ihnen empor, von denen die eine 1800 Fuß südwestlich, die andere 2200 Fuß östlich von der Mündung niederfiel, eine dritte aber gar nicht wiedergefunden wurde. Wären die Kugeln senkrecht in die Höhe gestiegen und senkrecht wieder herabgefallen, so hätten sie müssen in die Kanonen, aus denen sie abgeschossen worden, zurückfallen. Diese Versuche mußten aber nothwendig mißlingen, da die Kugeln niemals in allen Punkten der Röhre genau gleichmäßig anliegen, daher gar nicht senkrecht in die Höhe steigen. Beobachtungen über das Fallen der Körper von Thürmen stellte zuerst Hook an, doch waren die von ihm gewählten Fallhöhen zu gering, als daß er zu brauchbaren Resultaten hätte kommen können. Im Jahre 1791 wurden diese Versuche von Guglielmini auf dem Thurme Asinelli in Bologna wiederholt bei einer Fallhöhe von 241 Fuß. Guglielmini gelangte jedoch auch, weil er ein fehlerhaftes Verfahren einschlug, zu keinen entscheidenden Resultaten. Erst im J. 1802 wurden solche von Benzenberg erhalten, welcher Fallversuche vom Michaelisthurme in Hamburg anstellte, durch die sich bei 235 Fuß Fallhöhe eine östliche Abweichung von 3,99 Par. Linien ergab. Auch im Schachte des Kohlenbergwerkes zu Schlebbusch in der Grafschaft Mark stellte Benzenberg im J. 1804 Versuche an und fand bei einer Fallhöhe von 260 F. eine östliche Abweichung von 5 Linien. Nach der Rechnung, welche die Theorie aus der Bewegung der Erde giebt, hätte für eine Fallhöhe von 235 F. die östliche Abweichung 3,91 Linien sein sollen, welches Resultat, wie man sieht, nahe genug mit dem durch Beobachtung gefundenen übereinstimmt. Im Jahre 1831 endlich stellte Reich in dem 488 Par. Fuß tiefen Dreibrüderschachte zu Freiberg Fallversuche an und machte deren Resultate in der Schrift: „Versuche über die Umdrehung der Erde, angestellt in Freiberg, 1832 bekannt. Die Kugeln fielen im Mittel 10,32 Par. Linien nach Osten.

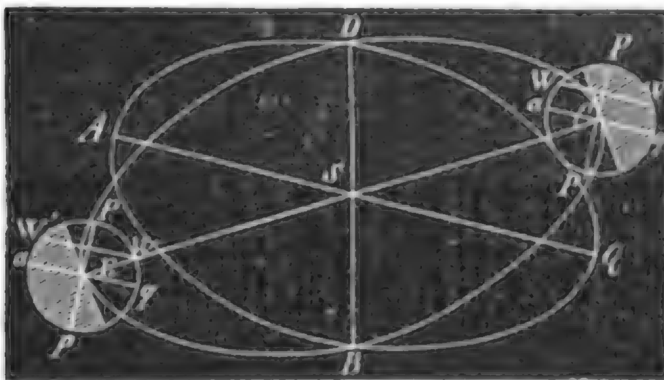
Aus der eben angestellten Betrachtung ergiebt sich auch, daß die verschiedenen Punkte der Erdoberfläche mit verschiedener Geschwindigkeit um die Axe der Erde sich herumbewegen. Derjenige Kreis nämlich, welchen ein jeder Punkt der Erdoberfläche binnen 24 Stunden zurücklegt, ist der durch ihn gehende Parallelkreis. So wie nun die Parallelkreise, je näher den Polen, desto kleiner werden, so nimmt auch die Geschwindigkeit der Punkte der Oberfläche ab und wird mit den Parallelkreisen an den Polen selbst = 0. Der Aequator ist der größte unter allen Parallelkreisen, daher denn auch die Punkte im Aequator unter allen Punkten der Erdoberfläche am schnellsten sich bewegen. Da der Umfang der Erde unter dem Aequator 5400 Meilen ist, so muß jeder Punkt unter dem Aequator binnen 24 Stunden 5400 Meilen zurücklegen, d. h. in Einer Stunde 225 Meilen. Der Parallelkreis, unter welchem St. Petersburg liegt, hat nur einen Umfang von 2700 Meilen, so daß also St. Petersburg in einer Stunde nur $112^1/_2$ Meilen zurückzulegen hat, d. h. nur halb so viel als ein Punkt unter dem Aequator. Ein Punkt unter 80° Breite hat in 24 Stunden 938, d. h. in einer Stunde nur noch $39^1/_{12}$ Meilen zurückzulegen.

Nimmt man, was wahrscheinlich ist, an, daß die Erdkugel früher eine flüssige oder doch weiche Masse war, so muß die größere Schwungkraft der in der

Gegend des Aequators liegenden Theile der Erde, wenn diese ursprünglich eine regelmäßige Kugel war, in ihr das Bestreben erzeugen, in der Ebene des Aequators sich auszubreiten, in der Gegend der Pole dagegen sich abzuplatten. Da nun die Erfahrung gezeigt hat (vergl. oben Abplattung), daß die Erde in der That nach den Polen zu abgeplattet ist, so haben wir hierin einen neuen Beweis für die diese Abplattung erklärende Annahme, daß die Erde um ihre Axe sich bewege *).

Der Grund, warum wir von der Bewegung der Erde nichts spüren, liegt in der Gleichförmigkeit, mit der sie sammt ihrer Atmosphäre im Weltraume sich bewegt. Erkennen wir einmal die Erde als einen Planeten an, so sprechen auch die Beobachtungen, welche man an den übrigen Planeten gemacht hat, sowohl für die Bewegung der Erde um die Sonne, als auch für die Bewegung derselben um ihre Axe. Mittelst der Fernröhre hat man nämlich an anderen Planeten Flecken bemerkt, welche in bestimmten Zeiten sichtbar, dann aber wieder unsichtbar wurden; sie erschienen an dem einen Rande des Planeten, gingen über denselben hinweg, verschwanden an dem entgegengesetzten Rande und kamen nach einer bestimmten Zeit an dem ersten Rande wieder zum Vorschein. Diese Erscheinung ist allein durch die Bewegung der Planeten erklärbar. Daß aber die Abplattung der Erde mit der Axendrehung derselben zusammenhängt, sieht man daraus, daß auch die übrigen Planeten nach den Polen zu abgeplattet sind.

Der einleuchtendste Beweis für die doppelte Bewegung der Erde ist aber der, daß sich die Erscheinungen, welche sich auf das Verhältniß der Erde zu den übrigen Weltkörpern beziehen, vollkommen aus der Annahme jener doppelten Bewegung erklären lassen. (Siehe die Art. Tag und Nacht, Ekliptik, Jahr und Jahreszeiten ꝛc.) Denn da die Bewegung der Erde zunächst die scheinbare Bewegung des ganzen Himmels in 24 Stunden um die Erde und der Sonne mit ihren wieder zugleich um sie sich bewegenden Planeten unter den Fixsternen des Himmels hervorbringt, so ist sie auch der Grund aller zunächst aus dieser scheinbaren Bewegung hervorgehenden Erscheinungen. Littrow giebt in dieser Hin- Hinsicht folgende kurze Erläuterung: ABQD sei die Ebene des Aequators, die z. B. durch eine horizontale Tafel vorgestellt wird, die man sich nach allen Seiten ins Unendliche erweitert vorstellt. Durch den Punkt S derselben, welcher Punkt die Sonne bezeichnen soll, sei eine andere ebenfalls ohne Grenzen erweiterte Tafel, unter dem Winkel von 23° 27′ gelegt, und in der zweiten Tafel aus dem Mittelpunkte S ein Kreis BCDE gezogen, so wird diese zweite Tafel die Ebene der Ekliptik und der in ihr



*) Umgekehrt war der im Obigen angeführte Schluß Newton's von der Umdrehung der Erde auf die Abplattung derselben. Alle Beweise für die Abplattung der Erde, welche die Beobachtung giebt, sind auch Beweise für die Bewegung derselben um ihre Axe, weil jene eine Folge von dieser ist.

verzeichnete Kreis die Ekliptik selbst, d. h. die Bahn der Erde bezeichnen. Es sei P der Nordpol, P′ der Südpol der Erde, also PP′ die Erdaxe, und die darauf senkrechte durch den Mittelpunkt der Erde gehende Linie aq der Erdäquator. Führt man nun in dieser Bahn BCDE den Mittelpunkt der Erde so fort, daß die Erdaxe PP′ immer senkrecht auf der Ebene des himmlischen Aequators ABQD steht, oder, was dasselbe ist, daß beide Aequatoren aq und AQ einander immer parallel bleiben, so sieht man gleichsam von selbst alle die Erscheinungen sich entwickeln, welche in der doppelten Bewegung der Erde ihren Grund haben. In der Mitte des Junius z. B. ist der Mittelpunkt der Erde in E, am tiefsten unter dem himmlischen Aequator. Da die Erde als eine Kugel von der Sonne immer zur Hälfte beschienen wird, und da die Lichtgrenze, welche in der Figur die helle Hälfte der Erde von der dunklen trennt, immer senkrecht auf die Linie SE stehen muß, welche die Mittelpunkte der Sonne und der Erde verbindet, so liegt hier der Nordpol und seine nächsten Umgebungen ganz in der Tagseite der Erde, und er bleibt, während sich die Erde täglich um ihre Axe PP′ dreht, immer in den Strahlen der Sonne. Weiter von dem Pole entfernte Orte, die aber noch auf der nördlichen Seite des Aequators aq liegen, wie z. B. Wien in w, werden zwar durch die Umdrehung der Erde auch in die Nachtseite geführt, aber bei d i e s e r Neigung der Lichtgrenze wird der Bogen, den Wien während der Nacht beschreibt *), viel kleiner sein als der, welchen diese Stadt während ihres Tages zurücklegt, oder die Tage werden viel länger sein als die Nächte. Auch wird sich für diesen Ort die Sonne im Mittage, wie die Zeichnung deutlich zeigt, sehr hoch über den Horizont erheben, welcher letzte eine gerade durch den Mittelpunkt der Erde E auf wE senkrecht stehende Linie ist. Wegen dieses höheren Standes der Sonne wird die Temperatur auf der nördlichen Hemisphäre der Erde erhöht werden, oder kurz, die nördliche Hälfte der Erde wird S o m m e r haben. Der Südpol P′ aber wird, wie sich auch die Erde um PP′ drehen mag, immer in der Nachtseite bleiben, und da überhaupt von der ganzen südlichen Hemisphäre aP′q der größte Theil im Schatten liegt, also hier die Tage durchaus kürzer sind als die Nächte, so wird diese Hemisphäre ihren Winter haben.

Nach einem halben Jahre, in der Mitte des Decembers, ist der Mittelpunkt der Erde in C am höchsten über dem himmlischen Aequator AQ, und hier hat das Gegentheil von den oben erwähnten Erscheinungen statt. Der Nordpol P ist in der Nachtseite, während der Südpol P′ immer von der Sonne beschienen wird; von der nördlichen Hemisphäre ist der kleinere, von der südlichen der größere Theil auf der Tagseite; auf jener sind daher die Tage kürzer als die Nächte, auf dieser die Nächte kürzer als die Tage oder die nördliche Hemisphäre hat ihren Winter, die südliche aber Sommer. In der Mitte zwischen diesen beiden Punkten ist die Erde gegen den 20. März in D und gegen den 20. September in B, und da, wie man leicht sieht, hier die beiden Pole weder in der Tag- noch in der Nachtseite, sondern in der Lichtgrenze selbst liegen, so hat die g a n z e Erde Tag und Nacht einander gleich, eine Erscheinung, die, wie man aus der Zeichnung sieht, für die Bewohner des Aequators wohl das ganze Jahr, für alle andere aber nur an den zwei Tagen des Jahres stattfindet, welche den Anfang des Frühlings und des Herbstes bezeichnen.

---

*) Indem sich Wien in dem Kreise mit der Erde herumbewegt, dessen Durchschnitt in der Figur mit ww′ bezeichnet ist.

Die Bahn der Erde, d. h. die krumme in sich zurücklaufende Linie, in welcher sich die Erde um die Sonne bewegt, ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht, so also, daß die Erde in den verschiedenen Jahreszeiten (auf den verschiedenen Punkten ihrer Bahn) in ungleichen Entfernungen von der Sonne absteht. Die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne, d. h. die halbe große Axe der Erdbahn, hatte Encke aus den Beobachtungen des Venus-Durchganges durch die Sonnenscheibe 1769 zu 20666800 geogr. Meilen angesetzt. Nun aber hat Littrow's Auffindung des Manuscripts von Hell's Beobachtung jenes Venus-Durchganges in der Bestimmung der Sonnenparallaxe eine kleine Aenderung herbeigeführt, wie Encke in den Abhandlungen der Berliner Akademie vom Jahre 1835 aus einander gesetzt. Wenn nämlich A die halbe große Axe der Erdbahn ist, so wird jetzt am sichersten a = A sin 8″,87116 angenommen. Hier ist nach Bessel (s. S. 883) a = 3272077,1399 Toisen. Aus der Gleichung für a folgt nun

$$A = \frac{a}{\sin 8'',57116} = 20682329$$

geogr. Meilen. Hiernach ist A etwa 12000 mal so groß, als der Durchmesser der Erde. Die Excentricität der Erdbahn, d. h. die Entfernung des Brennpunktes und damit der Sonne von dem Mittelpunkte, ist 0,016792 der mittleren Entfernung, und nimmt in 100 Jahren um 0,000043 ab. Diese Bahn legt die Erde im Laufe eines Jahres zurück, und zwar würde ein Beobachter auf der Sonne die Erde nach 365,25637 Tagen wieder vor demselben Sterne erblicken, daher das Jahr von dieser Länge das siderische (v. d. griech. σιδήρ Stern) Sonnenjahr heißt *).

Täglich muß die Erde 355800, in Einer Stunde 14800, in Einer Minute 246, in Einer Secunde 4,1 Meilen oder 93700 Par. Fuß vorwärts gehen; sie fliegt also in ihrer Bahn viel schneller fort, als selbst eine Kanonenkugel, die höchstens 2300 Fuß in der Secunde zurücklegt, und die größte auf Erden wahrgenommene Geschwindigkeit hat.

Die durch die Bahn der Erde gelegte Ebene bleibt immer dieselbe. In dieser Ebene bewegt sich die Erde so, daß ihre Axe nicht senkrecht auf derselben steht, sondern von der senkrechten Stellung um 23° 27′ abweicht, welche Abweichung die Schiefe der Ekliptik heißt (s. d. Art.) und jährlich um $^{1}/_{2}$ Secunde abnimmt. Während der ganzen Zeit ihres Umlaufes um die Sonne bleibt die Axe derselben in einer mit sich selbst parallelen Richtung, d. h. die Richtung, welche dieselbe an einem Punkte der Erdbahn hat, ist parallel derjenigen Richtung, welche sie in jedem anderen Punkte der Bahn hat **). Ein in der Sonne aufrecht stehender Beobachter, der seinen Kopf gegen den nördlichen Pol der Ekliptik gerichtet hätte, würde die Erde in ihrer Bahn von der rechten gegen die linke Seite fortrücken sehen. Stellt man sich einen Beobachter im Mittelpunkte der Erde stehend vor, den Kopf gegen den Nordpol gerichtet und nach einem Stern im Aequator sehend, so würden vor demselben die Gegenstände auf der Oberfläche der Erde,

---

*) Vergl. über die Länge des Jahres nach seiner verschiedenen Bestimmungsart den Artikel Jahr.

**) Vergl. Vorrücken der Nachtgleichen.

indem sich diese umdreht, von der rechten zur linken Seite vorübergehen. Die Zeit, in welcher sich die Erde einmal um ihre Axe herumdreht, ist stets genau dieselbe, nämlich ein Sterntag, nach mittlerer Sonnenzeit ausgedrückt, 23 Stunden 56 Min. 4 Sec. (Vergl. d. Art. Zeit, Sternzeit.) Jahn.

Dichte der Erde. Unter der Voraussetzung einer gleichmäßigen Dichte der Erde hat Newton die Abplattung des Erdkörpers zu $\frac{1}{229}$ und später Biot zu $\frac{1}{192}$ berechnet, Resultate, welche von den durch die directen Bestimmungen dieser Größe (s. oben), da sie nahe $\frac{1}{300}$ beträgt, so bedeutend abweichen, daß die Voraussetzung, unter welchen diese Resultate gefunden wurden, als nicht gerechtfertigt gelten muß. Es ist daher die Frage, wie groß die mittlere Dichte des Erdkörpers eigentlich sein möge, d. h. wie sich das Gewicht des Erdkörpers zu dem Gewichte einer gleichgroßen Wasserkugel verhalten werde.

Die geringe Tiefe, bis zu welcher wir den Erdkörper kennen, zeigt schon vielfache Abwechselungen in der Dichte der verschiedenen Erdschichten. Wenn nun auch hier es nicht durchgängig gilt, daß der dichtere Körper unter dem weniger dichteren gelagert ist; so ist doch wahrscheinlich, daß, wenn die Erde (wofür die Abplattung derselben der schlagendste Beweis ist), ehe sie ihre jetzige Gestalt annahm, sich in einem durchgehends mehr oder weniger flüssigem Zustande befand, aus welchem sich die festwerdenden Stoffe allmälig ablagerten, die dichtesten Schichten der Erdmasse die unterste Stelle eingenommen haben werden, also um den Mittelpunkt der Erde gelagert seien, und daß von da ab die Schichten immer mehr an Dichte bis zur Oberfläche abnehmen mußten. Man muß überdies bedenken, daß je näher nach dem Mittelpunkte zu eine Erdschicht liegt, eine desto größere Last über ihr ruht und sie zusammenzudrücken strebt: auch aus dem nach dem Mittelpunkte der Erde hin zunehmenden Drucke folgt eine nach dem Mittelpunkte hin zunehmende Dichte der Erdschichten. An vielfachen Ausnahmen mag es allerdings nicht fehlen, wie wir dies auch schon von der Oberfläche, der Erdrinde, bemerkt haben, und überdies ist es auch höchst wahrscheinlich, daß in dem Innern der Erde so gut wie nahe an ihrer Oberfläche große Höhlungen vorkommen, wiewohl auch diese wegen des größeren auf ihnen lastenden Druckes gegen den Mittelpunkt der Erde hin seltner werden mögen. Aus diesen Betrachtungen ergiebt sich, daß die Lösung der Aufgabe ihre großen Schwierigkeiten haben werde; dennoch hat man es versucht und auf verschieden eingeschlagenen Wegen Resultate gefunden, welche, obgleich nicht vollkommen übereinstimmend, doch so wenig verschieden sind, daß man die Aufgabe als gelöst ansehen kann. Was hier noch zu thun sein möchte, wäre derartige Untersuchungen auf den schon betretenen Wegen zu wiederholen, um so eine Controlle für die früher gemachten Beobachtungen zu erhalten und durch die neu gewonnenen Resultate in Verbindung mit dem früheren den mittleren Werth noch genauer festzustellen. Daß dies theilweise schon geschehen ist, werden wir weiter unten sehen.

Um die Aufgabe zu lösen, hat man die Anziehung der Erde mit der Anziehung anderer Körper verglichen, deren specifisches Gewicht bekannt war. Die

Anziehung zweier Körper verhält sich nämlich *) direct wie ihre Massen und umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen. Bezeichnen wir daher mit m die Masse des einen Körpers, mit m_1 die des anderen, ihren Abstand mit r und r_1, die Anziehung des ersten mit g, die des anderen mit g_1 (wobei für die Erde bekanntlich die Anziehung durch den freien Fall der Körper in der Ersten Secunde gegeben ist), so erhalten wir

$$g : g_1 = \frac{m}{r^2} : \frac{m_1}{r_1{}^2};$$

und bezeichnen wir die entsprechenden Dichtigkeiten mit d und d_1, so ist **)

$$d : d_1 = \frac{m}{r^3} : \frac{m_1}{r_1{}^3},$$

so daß, wenn die Anziehungen zweier Körper durch Versuche gefunden, ihre Entfernungen und die Masse des einen bestimmt sind, die Masse des anderen sich finden läßt, und wenn man somit die Massen beider Körper erhalten und die Dichte des einen durch den Versuch bestimmt hat, nach der zweiten Proportion die Dichte des anderen bestimmt werden kann.

Die eingeschlagenen Wege sind drei: Anwendung einer Drehwage, Ablenkung des Bleilothes von der Verticalen in der Nähe eines Berges und Vergleichung der Pendellänge in der Ebene und auf dem Gipfel eines Berges.

Cavendish ***) stellte nach den vorher angegebenen Principien mittelst der Drehwage während eines ganzen Jahres Versuche und Beobachtungen an, zu welchen Michell zuerst den Gedanken angegeben hatte. Michell hing nämlich einen dünnen hölzernen Stab mit Bleikugeln an seinen Enden an einem feinen Metallfaden im Schwerpunkte auf. Der herabhängende Wagebalken muß an irgend einem Punkte zur Ruhe kommen, aber bei der außerordentlichen Beweglichkeit seiner Aufhängung durch die geringste auf ihn wirkende Kraft aus dieser seiner Lage gebracht werden. Vermöge seiner Schwere kommt der Wagebalken zur Ruhe, die Schwere aber ist nichts anderes als die auf ihn wirkende Anziehung der Erde. Nähert man dem Wagebalken nun in einer bestimmten Entfernung einen anderen Körper, dessen Masse und Dichte bekannt ist, so zieht dieser nach dem Gesetze der Massenanziehung (siehe den Artikel Anziehung) den Wagebalken an, und bringt denselben gemäß der Größe dieser Anziehung aus der ihm durch die Anziehung der Erde gegebenen Stellung. Aus der Größe der Anziehung durch den bekannten Körper kann man folglich auf die Dichte der Erde schließen. Die leichte Beweglichkeit des Wagebalkens bringt es mit sich, daß schon durch die scheinbar geringfügigsten Kräfte der Wagebalken bewegt wird, daher man bei Anstellung derartiger Versuche sich nicht genug vor vielfachen Störungen (durch Temperaturwechsel, Luftströmungen, die durch Annäherung des Beobachters an den Apparat entstehen, und dergleichen) bewahren kann. Cavendish schloß daher seinen Apparat in ein eigenes Zimmer ein und beobachtete die Schwingungen des Wagebalkens durch Fernröhre, näherte auch die auf den

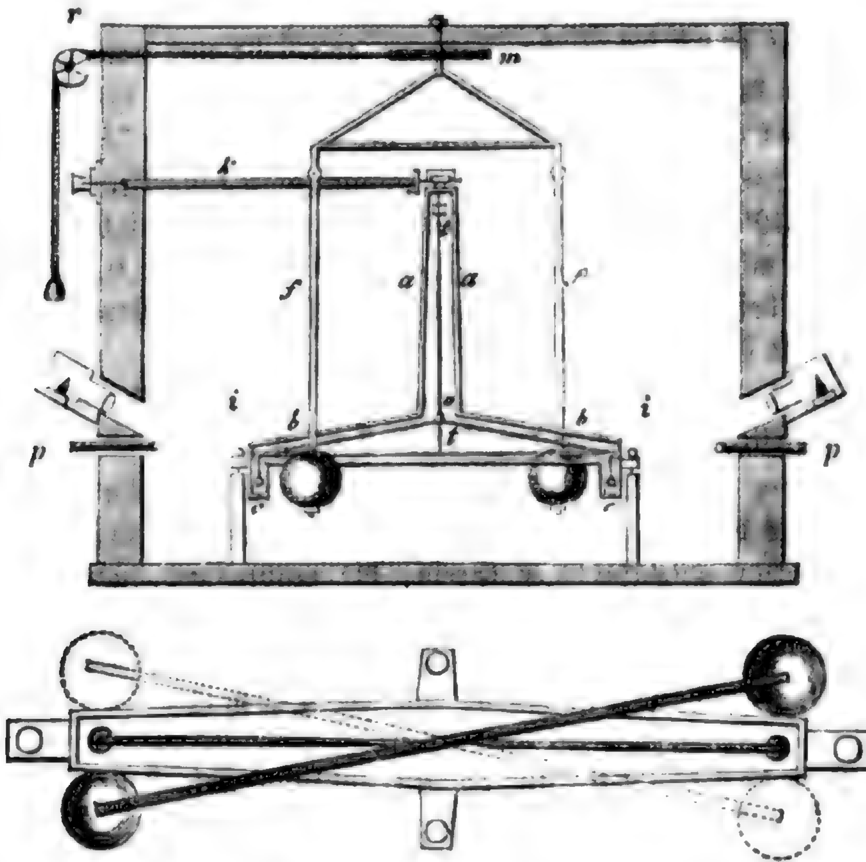
*) Vergl. Art. Anziehung in Bd. I. S. 241.

**) Vergl. Art. Dichte. Bd. II. S. 479.

***) Philos. Transact. T. LXXXVIII. N. 469 und besonders auf Gilbert in Gilb. Ann. Bd. II. S. 1).

Wagebalken einwirkenden Körper durch eine besondere Vorkehrung von außerhalb des Zimmers her.

Wegen des von Cavendish verbesserten Apparates verweisen wir auf den Artikel Drehwage Bd. II. S. 549, woselbst die Einrichtung näher angegeben ist. Da wir hier aber auf die in dem Art. Drehwage nur angedeutete Anwendung näher einzugehen haben, so nehmen wir hier die dort gegebene Abbildung wieder auf. Zugleich bemerken wir, daß nach A. v. Humboldt *) die Methode



mittelst der Drehwage die Dichte der Erde zu bestimmen bei Vermeidung der eben angegebenen Störungen sich als die sicherste herausstellt, da sie unabhängig von der schwierigen Bestimmung der Dichtigkeit der Mineralien ist, aus welchem das sphärische Segment eines Berges besteht, in dessen Nähe man sonst beobachtet.

Bei Anstellung der Beobachtungen wurden die an den Stäben ff hängenden großen Bleikugeln von 8 Zoll Durchmesser den kleineren an ll aufgehängten von 2 Zoll Durchmesser genähert und die aus der Anziehung verursachten Schwingungen des Wagebalkens beobachtet. Der Wagebalken weicht von seiner früheren Lage ab. Indem er nach beiden Seiten oscillirt, ist als Punkt der Ruhe der inmitten der Grenzen der Abweichungen nach beiden Seiten liegende Punkt anzunehmen. Da die Oscillationen aber nach einander kleiner werden, so wurden die Abweichungen in der Art beobachtet, daß als Grenzpunkte der Abweichung nach der einen Seite das Mittel der ersten und dritten Schwingung angenommen und mit dem Grenzpunkte der zweiten Schwingung verglichen, den Punkt der Ruhe gab. Da

*) Kosmos. Bd. I. S. 176.

die Oscillationen nur langsam auf einander folgen, so kann man die Zeit der Schwingungen leicht bestimmen, wenn man das Zeitintervall zwischen zwei weit von einander liegenden Coincidenzen der Theilstriche ungefähr in der Mitte der Schwingungen mißt, und dieses durch die Zahl der Schwingungen zwischen beiden Beobachtungen dividirt. Der Draht tt war ein versilberter Kupferdraht von 39,25 Zoll Länge und 2,4 Grains Gewicht, welcher so wenig Widerstand der Drehung leistete, daß beim Oscilliren des Wagebalkens die Kugeln an die Seiten des Gehäuses anschlugen, weshalb Cavendish nur sechs Versuche damit anstellte; der später gebrauchte wog 170 Grains. Ueberhaupt wurden vom 5. Aug. 1797 bis 23. Mai 1798 siebenzehn Versuche angestellt und daraus die Dichtigkeit der Erde (die des Wassers = 1 angenommen) = 5,48 berechnet, ein Resultat, welches Cavendish nicht um mehr als $^1/_{14}$ unrichtig hält.

Neuerdings hat Reich *) unter Anwendung von Gußeisen statt des Bleies zu Freiberg (Br. 50° 55′) ähnliche Versuche mit großer Sorgfalt angestellt, und ursprünglich 5,43 mit einem wahrscheinlichen Fehler von nur 0,0233 gefunden, woraus sich aber bei Berücksichtigung des Einflusses der Schwungkraft der Erde auf die Schwerkraft 5,44 ergiebt.

Ebenso hat Baily **) als Mittel aus mehr als zwei Tausend mit größter Genauigkeit angestellten Versuchen den Werth 5,67 gefunden.

Hutton (der die sogleich näher zu beschreibenden Berechnungen der Dichtigkeit der Erde aus der Ablenkung des Pendels durch Berge gemacht hatte) unterwarf noch als vierundachtzigjähriger Greis, die mühseligen, größtentheils nicht von Cavendish selbst angestellten Berechnungen einer Prüfung, wonach die angegebene Größenbestimmung der Dichtigkeit der Erde auf 5,32 herabzusetzen sein würde ***). Nach der Revision von E. Schmidt ****) ist das Resultat 5,52.

Schon Newton *****) hatte die Behauptung aufgestellt, daß ein Berg eine Ablenkung des Lothes von derjenigen verticalen Linie veranlassen müsse, welche jenes, wenn der Berg nicht auf dasselbe wirkte, anzeigen müßte. Es ist das Nähere hierüber bereits in dem Artikel Anziehung Bd. I. S. 242 beigebracht, weshalb hier ausdrücklich darauf verwiesen wird. Das Verdienst aus dieser Ablenkung von der Verticalen die Dichtigkeit der Erde zu ermitteln, gebührt Hutton und Maskelyne, indem diese zuerst in dieser Absicht in den Jahren 1774 bis 1776 genauere Beobachtungen über diejenige Ablenkung anstellten, welche der Berg Shehallien (gälisch Thichallin) in Pertshire an dem Bleilothe bewirkte Die Art, in welcher diese Beobachtungen angestellt worden, ist im Allgemeinen im Art. Anziehung a. a. O. angegeben. Das Verhältniß des Winkels, um welchen das Loth abgelenkt wird zum rechten Winkel oder zur Einheit, ist dann gleich dem

*) Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde. Freiberg 1838. S. 60 62 und 66.

**) Experiments with the Torsion Rod for determining the mean density of the Earth. Forming the XIV. Vol. of the Mem. of the Roy. Astronom. Soc. London 1843. Ferner Lond. and Edinb. Phil. Mag. T. XXI. No. 136. p. 111. Ann. de Chim. et Phys. 3. Sér. T. V. p. 338 und Poggend. Ann. Bd. LVII. S. 453 u. 613.

***) Phil. Transact. 1821. p. 286.

****) Lehrbuch der math. Geographie. Bd. I. S. 487.

*****) Opusc. T. II. p. 21.

Verhältnisse der Anziehung der Masse des Berges zu der der Masse der Erde. Wird hierauf Volumen und mittlere Dichte des Berges ausgemittelt, so kann man bei dem bekannten Volumen der Erde (da sich die Anziehungen wie die Massen, und diese wie die Producte aus Volumen und Dichte verhalten) die Dichte derselben berechnen.

Die von Hutton *) angestellten Beobachtungen lassen sowohl in Hinsicht auf ihre Anzahl als auch in Hinsicht ihrer Genauigkeit nichts zu wünschen übrig, obgleich Hutton selbst die Möglichkeit von Fehlern zugab und daher wünschte, daß derartige Untersuchungen wiederholt werden möchten. Das beobachtete Verfahren und die aus den mühseligen Rechnungen erhaltenen Resultate hat Hutton **) ausführlich beschrieben. Er fand das Verhältniß der Dichte der Erde zu der des Berges = 9 : 5 (genauer = 17804 : 9938), wobei der mittlere Grad des Erdsphäroids zu 57030 Toisen zu Grunde gelegt war. Nimmt man, was richtiger ist, 57007 Toisen, so erhält man 9 : 5,0217 oder 17804 : 9934,1. Schwieriger fast als die angestellten Beobachtungen war es aber die Dichte des Berges aus der seiner sämmtlichen Bestandtheile zu bestimmen. Hutton nahm dieselbe = 2,5 an, wenn die Dichte des Wassers = 1 gesetzt wird. Hiernach verhielt sich die Dichte der Erde zu der des Wassers = 4,5 : 1 (oder genauer = 4,481 : 1). Später ***) nahm er nach der Angabe des mit der Gegend des Berges sehr bekannten Macara von Fortingal die Dichte des Berges = 3 an, wonach die Dichte der Erde = 5,377 wurde, und nun erschien Hutton die Zahl 5 als die wahrscheinlichste. Playfair und Lord Webb Seymour ****) haben nachdem die Beschaffenheit des Shehallien auf das genaueste untersucht, das specifische Gewicht (und damit die Dichte) der einzelnen Lagerungen, so wie ihre Masse, endlich auch das Verhältniß ihrer Lage zu den Beobachtungsorten (wegen der Bestimmung der örtlichen Einflüsse derselben auf das Loth) bestimmt. Sie erhielten 4,867. Nimmt man außerdem noch Rücksicht auf die neuesten Bestimmungen des Volumens der Erde, so ergiebt sich die mittlere Dichte der Erde = 4,71143.

Den dritten Weg hat Carlini *****) eingeschlagen. Er maß die Länge des einfachen Secundenpendels auf dem Mont-Cenis und verglich diese mit der des Secundenpendels zu Bordeaux, gemessen von Biot. Die corrigirte Länge des Decimalsecundenpendels unter 44° 50′ 25″ fand Biot 751^{mm},6151; hieraus berechnet sich das Sexagesimalsecundenpendel unter 45° 14′ 10″ = 993^{mm},498; Carlini fand aber durch Beobachtung 993^{mm},708. Die Differenz von 0^{mm},210 ist eine Folge von der Anziehung des Berges und zieht man diese in Rechnung, so erhält man für die Dichtigkeit der Erde 4,39.

Ebenso hat Drobisch †) Pendelbeobachtungen berechnet, welche in 1200 englische Fuß Tiefe in den Gruben von Dolcoath in Cornwall in neuerer Zeit

*) Phil. Transact. 1775 u. 1778.

**) Tracts on mathematical and philosoph. subjects by Hutton. London 1812. Vol. II. p. 1.

***) Vergl. Tracts on math. etc. a. a. O.

****) Philos. Transact. 1811. p. 347 vergl. auch Gilb. Ann. Bd. XLIII. S. 62.

*****) Effemeride astrom. di Milano. 1824. Append. p. 28.

†) Poggend. Ann. Bd. XIV. S. 409. Vergl. auch: Drobisch: de vera Lunae figura cet. Leipzig 1826.

angestellt wurden, und hiernach ergiebt sich die mittlere Dichtigkeit der Erde = 5,43.

Endlich hat La Place *) durch scharfsinnige Berechnungen die Dichtigkeit = 4,761 erhalten.

Die genaueste Bestimmung für die Dichte der Erde würde man erhalten können, wenn man genau alle Bestandtheile der Erde, die Größe der ganzen Masse und die Dichte jeder einzelnen kennte. Dies ist indessen keineswegs der Fall. Zieht man jedoch die Bestandtheile der Erde bis zu einer Tiefe von 1500 Fuß (den Wassergehalt der Erdkruste mit inbegriffen) in Betracht, so ergiebt sich aus diesen eine Dichte der Erde = 1,52. Hieraus sieht man deutlich, daß das Innere der Erde aus anderen schwereren Substanzen bestehen müsse, als ihre oberste Rinde, denn diese müssen es sein, durch welche die mittlere Dichte der Erde auf ungefähr 5,5 erhöht wird.

Ueber die wahre Natur des Innern der Erde läßt sich bei dem Mangel einer genügenden Anzahl hierher gehöriger Thatsachen nur mit großer Unsicherheit urtheilen. Doch hat man gerade hierüber eine große Menge von Vermuthungen aufgestellt, von denen die meisten ganz willkürlich, und darum bodenlos sind. Man vergleiche den Artikel Geologie.

Nicht einmal die Oberfläche der Erde kennen wir überall, die Länder oder das Meer zunächst den Polen, das Innere von Afrika und das Innere von Neuholland sind uns, ungeachtet der in neuerer Zeit sich mehrenden Unternehmungen diese Gegenden zu erforschen, fast völlig unbekannt; doch können wir aus den Kenntnissen, die wir über den größten Theil der Erdoberfläche haben, einigermaßen sichere Schlüsse auf die Beschaffenheit jener Gegenden machen.

Die Hülle der Erde, die Erdrinde, kennen wir nur bis zu einer gegen den ganzen Halbmesser der Erde verschwindend kleinen Tiefe. An sehr wenigen Orten ist man bis unter das Niveau des Meeres hinabgestiegen. A. v. Humboldt **) hat alles zusammengestellt, was er Sicheres über die größten Tiefen, bis zu welchen der Mensch in die Rinde der Erde eingedrungen ist, hat auffinden können. Er unterscheidet zunächst absolute und relative Tiefe, jene giebt die Tiefe unter der Oberfläche der Erde von dem Punkte, an welchem die Arbeit begonnen ist, diese die Tiefe unter dem Spiegel des Meeres. Die größte relative Tiefe, welche die Menschen bisher erreicht haben, ist vielleicht das Bohrloch zu Neu-Salzwerk bei Preußisch Minden; sie betrug im Juni 1844 genau 1873½ Par. Fuß (607^m,4), die absolute Tiefe war 2094½ F. (680^m). Der artesische Brunnen von Grenelle bei Paris hat nur 1683 F. (547^m) absolute Tiefe. Die Feuerbrunnen, Ho-tsing, in China sollen sehr gewöhnlich die Tiefe von 1800 bis 2000 Fuß erreichen; ja bei Tseu-lieu-tsing soll ein Ho-tsing, mit dem Seile im Jahre 1812 gebohrt, 3000 Fuß tief sein. Die relative Tiefe, welche man zu Monte Massi in Toscana, südlich von Volterra, erreicht hat, beträgt nach Matteuci nur 1175 Fuß (382^m). Dem Bohrloche zu Neu-Salzwerk kommt an relativer Tiefe wahrscheinlich sehr nahe das Kohlenbergwerk zu Apendale bei

*) Mécban. Célest. T. V. p. 46.
**) Kosmos. Bd. I. S. 416.

Newcastle under Lyme. Man arbeitet dort 725 Yards oder 2045 Par. Fuß unter der Oberfläche. Die relative Tiefe der Grube Monk Wearmouth bei Newcastle ist nur 1404 Fuß, die der Lüttticher Steinkohlengrube Espérance zu Seraing 1271 Fuß, die ehemalige der Steinkohlengrube Marihaye bei Val St. Lambert im Maasthale 1157 Fuß. Die absolut tiefsten Arbeiten, welche die Menschen unternommen haben, sind meist in so hohen Gebirgsebenen oder so hohem Thalboden angesetzt worden, daß dieselben entweder gar nicht das Niveau des Meeres erreicht haben oder zu einer sehr geringen Tiefe unter dies Niveau gelangt sind. So hatte einst der jetzt unfahrbare Eselsschacht zu Kuttenberg in Böhmen die ungeheure absolute Tiefe von 3545 Fuß. Auch zu St. Daniel und beim Geist am Rörerbühel (in Tyrol) waren im 16. Jahrhundert die Baue 2916 Fuß tief. Die absoluten Tiefen der Bergwerke im sächsischen Erzgebirge bei Freiberg sind im Thurmhofer Zug 1823 Fuß, im Hohenbirker Zug 1711 Fuß; die relativen Tiefen erreichen nur 626 und 260 F. Die absolute Tiefe der Grubenbaue zu Joachimsthal in Böhmen hat volle 1989 F. erreicht und geht doch nicht bis zum Meeresspiegel. Am Harz wird auf der Grube Samson zu Andreasberg in 2062 Fuß absoluter Tiefe gebaut. In dem ehemaligen spanischen Amerika kennt v. Humboldt keine tiefere Grube als die Valenciana bei Guanaxuato (Mexico), wo er die absolute Tiefe der Planes de san Bernardo 1582 Fuß gefunden hat; es fehlen aber noch 5592 Fuß bis zum Meeresspiegel. Auf dem Wege von Jerusalem nach dem todten Meere zu schreitet man, indem man sich dem Spalte naht, in welchem der Jordan fließt, auf Gesteinschichten, die nach Bertou's und Rußegger's barometrischem Nivellement 1300 Fuß in senkrechter Tiefe unter dem Spiegel des Mittelmeeres liegen. Die tiefsten Arbeiten der Menschen erreichen also in senkrechter Tiefe nicht viel mehr als 2000 Fuß, also noch nicht $^1/_{11}$ Meile, unter dem Niveau der Meere, also nur $\frac{1}{9800}$ des Erdhalbmessers. Auch ist es an und für sich unmöglich, daß, auch wenn ein Volk Jahrtausende lang an einem Schachte, der senkrecht hinabginge, die Arbeit fortsetzen wollte, ein solcher Schacht ausgeführt werden könnte, denn die Luft würde bald so an Dichte zunehmen, daß kein lebendiges Wesen in ihr athmen könnte, ja sie würde so fest sein, daß sie, die immer nachdringen würde, mit gleicher Festigkeit an die Stelle der durchgehauenen Felsmassen treten würde, abgesehen von der hohen Temperatur, welche man antreffen und in der kein Mensch aushalten würde, und von dem Wasser, welches sich überall im Niveau des Meeres findet und nur schwierig am Zudringen zu verhindern sein möchte.

Die Oberfläche der Erde ist verschieden gestaltet und besteht aus Festland, Inseln und Meer; sie ist uneben, d. h. nicht allenthalben gleich weit von dem Mittelpunkte entfernt, und hat daher Erhöhungen und Vertiefungen. Ueber die Erhöhungen des festen Landes vergleiche den Artikel Berg in Bd. I. S. 763, über den Meeresboden den Artikel Meer, und hierbei verweisen wir auch mit Rücksicht auf die Reisen in die Polarländer auf den Artikel Eis in Bd. II. S. 600, namentlich S. 609 ff.

Das Festland der Erde wird in fünf Erdtheile eingetheilt, von denen drei: Europa (v. d. griech. ευρωπός, dunkel), Asien (sogenannt von einer Gegend und Stadt am Lydischen Flusse Kayster in Kleinasien) und Afrika (hieß früher Libya,

die jetzige Benennung soll aus dem Phönizischen kommen und Getreide-Land bedeuten) die sogenannte Alte Welt, die beiden übrigen: Amerika (genannt nach Amerigo Vespucci, der nach dem zuerst von Columbus entdeckten Lande wiederholte Reisen machte) und Neuholland oder Australien (v. d. lat. auster der Südwind, also: Südland) oder Polynesien (v. d. griech. πολύς viel, νῆσος, Insel) die Neue Welt ausmachen. Da man die Länder um die Pole nicht genau oder gar nicht kennt, so läßt sich mit völliger Genauigkeit nicht angeben, der wie vielste Theil der Erdoberfläche Land, der wie vielste mit Wasser bedeckt sei. Doch nimmt man im Allgemeinen an, daß $^1/_3$ der Erde Land, $^2/_3$ Meer sei. Die ganze Oberfläche der Erde zu 9260500 geographische Quadratmeilen angenommen, vertheilt sich das Land, zusammen 3059675 Quadratmeilen, auf die einzelnen Erdtheile wie folgt:

Europa	171834	Quadratmeilen
Asien	641093	= =
Afrika	531638	= =
Amerika	572110	= =
Neuholland	143000	= =
Alle Inseln	1000000	= =
im ganzen	3059675	Quadratmeilen;

so daß die übrigen 6200825 Quadratmeilen auf die fünf Oceane: 1) das nördliche Eis- oder arktische Polarmeer, 2) das südliche Eis- oder antarktische Polarmeer, 3) den großen oder stillen Ocean, 4) den indischen Ocean und 5) den atlantischen Ocean kommen.

In Betreff der übrigen geographischen Verhältnisse verweisen wir hier auf die betreffenden Artikel und wenden uns wieder zu den eigentlichen physikalischen Untersuchungen in Betreff der Erde und zwar zu den Wärmeverhältnissen. Hier würde in Betrachtung zu nehmen sein die Temperatur der Atmosphäre, die Temperatur der Erdoberfläche, die Temperatur der Erdrinde und des Meeres und endlich die Temperatur des Erdinnern. Wegen der Temperatur der Atmosphäre verweisen wir auf die Artikel Klima und Isothermen, wo auch das auf die Abnahme der Temperatur der Luft mit zunehmender Höhe und auf die Schneegrenze Bezügliche zu finden ist; wegen der Temperatur der Erdoberfläche bieten die Artikel: Klima und Isothermen ebenfalls das Erforderliche; wir betrachten also an dieser Stelle zunächst die Temperatur der Erdrinde und des Meeres.

Es sind sowohl über die Temperatur des Landes in verschiedenen Tiefen als über die Temperatur des Wassers, des Meeres, in verschiedenen Tiefen vielfache Untersuchungen angestellt worden *). Noch ehe man bis zu einer Tiefe von 100 Fuß in die Schale der Erde eindringt, ist fast jede Spur eines Einflusses der äußeren Temperatur verschwunden. Dagegen findet sich eine gleich bleibende Temperatur, welche nicht wie die der Atmosphäre wechselt. So befindet sich im Gewölbe unter der Par. Sternwarte 86 Fuß tief unter der äußeren Erdoberfläche ein Thermometer, welches seit 1671 beobachtet worden ist, und immer dieselbe Temperatur 11°,834 C. anzeigt, während die Temperatur der Sternwarte 10°,822

*) Vergl. Dove's Repert. Bd. III. S. 284 ff.

beträgt. Von mehreren Naturforschern sind entsprechende Beobachtungen gemacht worden, und nach den von Muncke *) in Heidelberg mit drei Thermometern, welche er in $1^1/_2$, 3 und 5 Fuß Tiefe eingesenkt hatte, angestellten Untersuchungen reichen die Einflüsse der täglichen Veränderungen der äußeren Wärme bis 1,5 Fuß der Erdrinde und verschwinden bei 3′ Tiefe, die monatlichen Einflüsse fangen bei 5′ an zu verschwinden und die jährlichen würden bis etwa 30 Fuß sich erstrecken. Im Trapp verschwindet der jährliche Unterschied bei 58′ Tiefe, im Sand bei 72′, im Sandstein bei 97′.

Unter dem Aequator sollte nach Boussingault's **) Behauptung die jährliche Temperatur im Schatten nur einen Fuß tief in den Boden eindringen; dies ist aber wenigstens für die östliche Halbkugel nicht richtig nach neuerdings angestellten Beobachtungen Caldecott's zu Trevandrum in Indien (8° 30′ 32″ nördl. und $5^h\ 7^m\ 59^s$ östl. v. Greenwich) ***). Die Resultate sind folgende:

	Bodentemperatur			Mittlere Lufttemperatur
	Tiefe 12 F.	Tiefe 3 F.	Tiefe 6 F.	
	F°	F°	F°	F°
1842 Mai . . .	86,805	87,349	86,742	80,09
Juni . . .	—	86,742	84,977	79,32
Juli . . .	86,938	85,789	83,901	78,73
August . .	86,383	84,940	83,147	77,90
September .	85,930	85,052	84,237	78,28
October . .	85,843	85,237	84,437	79,10
November . .	85,783	84,899	83,307	77,82
December . .	85,535	85,057	84,507	78,96
1843 Januar . .	85,783	86,212	85,759	79,05
Februar . .	86,085	86,809	88,047	80,09
März . . .	86,643	88,579	89,457	82,36
April . . .	—	—	89,114	81,58
Mai . . .	—	88,224	87,202	80,62
Juni . . .	—	85,739	83,549	78,21
Juli . . .	86,043	83,879	81,777	77,29

Es gleicht also das Eindringen der Sonnenwärme in den Boden im Allgemeinen nahe am Aequator dem unter unseren Breiten; selbst in 12 Fuß Tiefe ist die jährliche Periode noch nicht verschwunden und ihr Umfang beträgt daselbst noch $2^1/_4$° F., während sie in den beiden geringeren Tiefen von 6 und 3 Fuß auf respective $5^1/_2$ und 8° steigt und zugleich Unregelmäßigkeiten zeigt.

Die Methode, Thermometer bis zu gewissen Tiefen einzusenken, wie es Muncke that, ist unstreitig die zweckmäßigste, um die in Rede stehende Frage zu

*) Gehler's Wörterb. N. A. Bd. III. S. 988.

**) Ann. de chim. et de phys. T. LII. p. 181 u. T. LIII. p. 225.

***) Proced. of the R. Soc. Edinb. Vol. II. p. 29 und Poggend. Ann. Ergänzungsb. 2 oder 72 b. S. 191.

lösen; meistens hat man aber andere Wege eingeschlagen. Gewöhnlich wird die Wärme der Quellen aufgesucht. Das Wasser der atmosphärischen Niederschläge (Thau, Regen, Schnee 2c.), welches bald kälter, bald wärmer ist, muß, indem es tiefer als 30 Fuß in die Oberfläche der Erde eindringt, indem es sich vermischt und die constante Wärme der tieferen Erdschichten annimmt (welche wiederum durch jene bedingt werden mag) eine Temperatur annehmen, die um so constanter sein wird, je tiefer das Wasser, ehe es als Quellen wieder zum Vorschein kommt, in die Erde einsinkt, und dann, indem es in Quellen zum Vorschein kommt, eine Temperatur des Ortes anzeigen, welche der mittleren Temperatur des Ortes (bei deren Bestimmung also auch von allen die Temperatur erhöhenden oder erniedrigenden Zufälligkeiten abgesehen ist) gleich kommt. Roebuck *) scheint zuerst Messungen dieser Art empfohlen zu haben, indem er darauf aufmerksam machte, daß die Temperatur der Brunnen in London und Edinburg sehr nahe mit der der mittleren Luft übereinstimmte. Dasselbe bemerkte später John Hunter **) über die Quellen auf Jamaica, und bestätigte es auch über die von London. Durch v. Humbold's ***) Untersuchungen wurde die Aufmerksamkeit noch mehr darauf gelenkt; doch ist nach ihm die Temperatur der Quellen unter höheren Breiten etwas geringer, unter niederen etwas höher als die mittlere der Oerter. Eine große Reihe von Beobachtungen hat Wahlenberg auf L. v. Buch's Veranlassung angestellt: in Skandinavien ****), in der Schweiz *****) und in den Karpathen †). Außerdem verdienen noch eine Erwähnung L. v. Buch ††), Erman d. ä. über die Quellen in der Nähe Berlins †††) Erman d. j. ††††) über die Bodenwärme bei Königsberg, ebenso Kupfer †††††) und besonders auch G. Bischof *†).

Ueber die Zunahme der Temperatur mit der Tiefe sind in der neueren Zeit seit v. Saussure **†) viele interessante Beobachtungen angestellt worden, von denen jedoch nur einige hier angeführt werden sollen, um im Allgemeinen einen Beleg zu geben, und einen Begriff von der Art und Weise dieser Zunahme. V. Saussure fand in den Salinen von Bex im Kanton Waadt in einem seit drei Monaten von Niemandem befahrenen Schachte, in

332 Fuß Tiefe eine Temperatur von 14°,4 C.
564 „ „ „ „ „ 15°,6 C.
677 „ „ „ „ „ 17°,4 C.

*) Philos. Transact. for 1775. Vol. LXV. p. 461.
**) Philos. Transact. for 1788. Vol. LXXVIII. p. 53.
***) Mém. d'Arcueil. Tom. III. p. 597.
****) Gilb. Ann. Bd. XLI. S. 115.
*****) Wahlenberg de Veget. et Clim. in Helvetia Septentr. p. 61.
†) Wahlenberg, Flora Carp. p. 94.
††) L. v. Buch Canar. Ins. p. 80 und Poggend. Ann. Bd. XII. S. 403.
†††) Abhandl. der Berl. Akad. 1818—1319. S. 77).
††††) Poggend. Ann. Bd. XI. S. 297.
†††††) Poggend. Ann. Bd. XV S. 159.
*†) Die Wärmelehre des Innern unseres Erdkörpers, ein Inbegriff aller mit der Wärme in Beziehung stehender Erscheinungen in und auf der Erde. Leipzig 1837. S. 394 u. 508, desgl. sein Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. Bonn 1846 u. ff.).
**†) Voyages cet. §. 1088.

D'Aubuisson *) stellte Beobachtungen in den Minen von Freiberg an und zwar am Ende des Winters von 1802, in dem das Thermometer bis auf — 18° C. sank, zur Zeit der Beobachtung aber über der Oberfläche der Erde — 3° bis 4° C. zeigte. Freiberg liegt unter 51° n. Br. und 400ᵐ über dem Meeresspiegel, die mittlere Temperatur ist 8° bis 9° C. In folgender Tabelle sind d'Aubuisson's Beobachtungen zusammengestellt, die Grade sind nach C. bestimmt.

Tiefe in Metern	Beschert Glück	Himmelfahrt	Köhschacht	Jung-Hohe-Birke
0	8	8	8	8
100	—	10	—	10
120	9,5	—	—	11
160	—	—	—	12,5
180	—	12,5	—	—
200	—	—	—	14
220	12,5	—	12,5	—
240	—	—	—	15
260	14,5	14,5	14	—
280	—	—	—	16
300	15,5	—	16	—
330	—	—	—	17

Bei 220 und 260 Meter Tiefe wurde die Temperatur durch Wasser bestimmt, welches aus einer etwas größeren Höhe herabkam; dasselbe zeigte sich im Mai und im Januar gleich; stehendes Wasser in einer Tiefe von 260 Meter zeigte eine Temperatur vom 15° C. Die Versuche zeigen, daß die Temperatur der Minen in Freiberg in einer Tiefe von 300ᵐ die Temperatur der Oberfläche um etwa 8° übertrifft.

Noch sorgfältigere und weiter ausgedehnte Versuche stellte v. Trebra **) in den Jahren 1805 bis 1807 ebenfalls zu Freiberg an, und glaubte sich aus denselben zu dem Schlusse berechtigt, daß die Temperatur auf jede 120 Fuß Tiefe um 1° C. sich erhöhe ***). Hiernach würde schon bei einer Tiefe von 52 Meilen die Erde eine Hitze haben müssen, welche der Schmelzhitze des Eisens gleich wäre. Forbes und Fox fanden in Minen in Cornwall eine Tiefenstufe von ungefähr 36 Fuß. Die zahlreichen Versuche von Fox ****) sind in folgender Tabelle zusammengestellt, wobei die Veränderlichkeit der Zunahme der Temperatur leicht

*) Traité de Géognosie, cet. Strasburg 1819. T. I. p. 444, vergl. Journ. des Mines. T. XIII.

**) Geograph. Ephemer. Bd. XLIX. S. 433. Journ. de Ph. T. LXII. p. 443.

***) Die Tiefe, um welche man abwärts gehen muß, um eine Temperaturzunahme von 1° zu erhalten, nennt man Tiefenstufe.

****) Vergl. Phil. Mag. 1820. Oct., Annals of Phil. 1822. Ap. p. 308; Mai p. 381; Dcbr. p. 440, vergl. auch Ann. de chim. et phys. T. XXI. p. 310. Philos. Mag. and Ann. 1831. New. Ser. Vol. IX. p. 94.

erklärbar ist, wenn man bedenkt, daß das Wasser leicht zum Orte der Beobachtung entweder aus höher gelegenen Orten herab oder aus niedriger gelegenen Orten herauf kommen kann, auch diese und andere mannigfachen Einflüsse (die Gegenwart der Arbeiter und der Grubenlichter in den Minen, das Abbrennen von Schießpulver) die Temperatur der Luft unberechenbar modificiren müssen, so daß nicht ein regelmäßiges Zunehmen der Temperatur aus den Beobachtungen sich ergeben kann.

Tiefe in Fathom's	Temperatur des Wassers	Temperatur der Luft
20	14°,4 C.	13,3
40	13,3; 15,6; 12,2	13,9; 15,6
60	15,6; 16,7; 14,4	16,1; 16,7; 15,6
80	17,8; 16,7	18,3; 17,8
100	18,3	18,9
110	17,8; 18,9	18,3; 18,9
120	19,0; 18,9	20
130	22,2; 23,3; 17,2	22,7; 23,3; 16,7
140	25,5; 21,1	25,5; 22,2; 27,1; 23,8
150	24,4; 26,7	22,2; 26,7
160	18,9	22,8
170	18,0; 25,0; 28,9	18,9; 24,4
180	22,2; 20,5; 30	23,3; 22,2; 31,0

Sehr bemerkenswerth sind ferner die von Fantonetti*) in den Minen von Pestarena di Macugnana im Thale Anzasca angestellten Beobachtungen, welche theils im Winter, theils im Sommer vorgenommen und bei denen die Thermometer so angebracht wurden, daß sie sowohl die Temperatur der Felsen als des auf den Gallerien sich sammelnden Wassers gaben. Die Beobachtungen vom 13. März, wo die Temperatur im Freien 3°,8 C. war, sind folgende:

Tiefe	Wärme der Felsen	Wasser der Gallerie
0 Meter	—	10°,3
50 „	5°,1	10,2
100 „	7,5	11,3
150 „	10,0	12,5
250 „	11,3	13,7
350 „	13,1	14,2
450 „	15,0	13,7
702 „	16,3	16,5

*) Brugnatelli Giornale cet. 1821. p. 467.

Am 6. August erhielt Fantonetti bei einer äußeren Temperatur von 20°,0 C. in den Minen folgende Bestimmungen:

Tiefe	Wärme der Felsen	Wasser der Gallerie
0 Meter	—	12°,5
50 „	12,5	12,0
100 „	12,0	—
150 „	12,0	—
250 „	12,2	—
350 „	13,1	—
450 „	15,0	13,7
702 „	16,3	—

In den Minen von Neuspanien fand v. Humboldt *) zwischen 500 bis 770 Fuß 23°,7 bis 27°,6; in 1540 Fuß Tiefe 33°,8 C. Bei einer anderen Grube war die Temperatur oben 20°,8, bei 582 F. Tiefe dagegen 33°,7; in den Minen von Villalpando oben 22°,4 und bei 412 F. Tiefe 29°,4.

Nach den Beobachtungen v. Saussure's, v. Trebra's und d'Aubuisson's beträgt die Stufentiefe 120 Fuß, nach denen von Forbes und Fox nur 36 Fuß; nach denen von v. Humboldt zwischen 500 und 770 Fuß Tiefe nur 64 F., zwischen 770 und 1540 F. Tiefe 124, und nach den beiden anderen Messungen desselben 45 und 59 Fuß. Die Ungleichheit in der Tiefenstufe zeigt sich recht auffallend in den Beobachtungen, welche in neuerer Zeit in ausgedehntem Umfange in preußischen Bergwerken angestellt worden sind, denn nach ihnen schwankt dieselbe zwischen 52 und 366 Fuß und beträgt im Mittel 172 Fuß **).

Nach Reich ***) ist dieselbe im sächsischen Erzgebirge $128^1/_2$ F. In einem Schachte des Kohlenbergwerkes von Monk Wearmouth bei Newcastle findet Philipps ****) 99,6 F. Beobachtungen in dem Monte Massi in Toscana geben die Stufentiefe nur 40 Fuß, bei Stauffen in Würtemberg in einem Bohrloche gar nur 34 Fuß.

Diese Ungleichheit erklärt sich zum Theil durch den Zutritt der Luft in die Schachte und durch das Durchsickern kühleren Wassers von oben oder wärmeren Wassers von unten, zum Theil durch locale Verhältnisse, ins besondere durch vulkanische in der Nähe wirkende Kräfte, oder durch das Brennen unterirdischer Kohlenflötze. Trotz der gefundenen Ungleichheit in der Stufentiefe ergiebt sich als Thatsache eine Wärmezunahme, je tiefer man in das Innere der Erdrinde eindringt. Dies Resultat noch mehr festzustellen, haben die in neuerer Zeit mehrfach unternommenen Bohrarbeiten nicht wenig beigetragen. Schon oben sind die

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XIII. p. 184.

**) Poggend. Ann. Bd. XXII. S. 497 und De la Beche, Handbuch der Geogn., bearb. von Dechen. S. 10.

***) Beobachtungen über die Temperatur des Gesteins in verschiedenen Tiefen. 1834. S. 134.

****) Poggend. Ann. Bd. XXXIV. S. 191.

Tiefen mehrerer artesischer Brunnen als die bedeutendsten angegeben, namentlich in Betreff der Tiefe unter dem Meeresspiegel; hier kommen wir auf dieselbe zurück. Das Wasser des Rüdersdorfer Bohrlochs zeigte am 6. Jan. 1833 in einer Tiefe von

100	Pariser	Fuß	10°,2 R.
200	=	=	10,5 -
300	=	=	13,0 -
400	=	=	13,8 -
500	=	=	14,2 -
600	=	=	14,8 -
700	=	=	15,9 -
800	=	=	17,0 -
880	=	=	18,2 -

welcher letzte Punkt 700 F. unter dem Meeresspiegel liegt *). Es mag genügen als Beleg nach einer Beobachtungsreihe aus der oben angeführten Geologie von G. Bischof Bd. I. S. 159 hier eine Stelle zu geben. Es sind diese Beobachtungen gemacht worden an dem Bohrloche zu Neu-Salzwerk bei Preußisch Minden.

Tiefe Fuß	Temperatur nach R.	Tiefe Fuß	Temperatur nach R.	Tiefe Fuß	Temperatur nach R.
600	12°,5	1111	17°,75	1615	20°,5
654	13,0	1178	17,75	1633	21,0
692	14,0	1182	18,0	1640	21,0
775	15,5	1225	18	1664	22,0
793	15,75	1298	18	1690	22,0
820	14,25	1343	18	1713	22,0
848	14,5	1382	18	1763	22,0
923	15,0	1418	18	1783	22,5
960	15,0	1464	18	1897	23,0
975	14,75	1478	18	1951	23,5
1004	15,0	1494	18	1981	25,0
1033	16,5	1525	18	2020	25,0
1039	17,0	1575	18	2160	25,0
1045	18,0	1586	19,5		
1100	18,0	1595	20,0		

Die Temperaturabnahme bei 775 F. Tiefe rührt jedenfalls her von dem Eindringen kälteren Wassers von oben; von 1182 F. Tiefe bis 1575 F. wurde eine wasserdichte Schicht durchsunken und erst bei 1580 F. Tiefe traf der Bohrer wieder auf klüftiges Gestein. Die Temperaturzunahme von dieser Stelle an, macht sich ganz besonders bemerkbar.

Nach A. v. Humboldt **) ergiebt sich die Tiefenstufe in dem Bohrloche zu Neu-Salzwerk fast 91 F. (29^{m},6); in dem Brunnen zu Grenelle zu Paris

*) Dove's meteorolog. Untersuch. 1837. S. 25.

**) Kosmos. Bd. I. S. 426.

98,4 F. (32^m); zu Prény bei Genf, ungeachtet dort die obere Oeffnung des Bohrlochs 1850 F. über dem Meeresspiegel liegt, nach Aug. de la Rive und Marcet ebenfalls 91 F. (29^m,6); nach Walferdin *) in dem artesischen Brunnen bei Mondorff im Großherzogthum Luxenburg, dessen Temperatur er in einer Tiefe von 718 bis 720^m oder 2287,5 bis 2294 F. gleich 27^0,63 fand, 98,9 F. (31^m).

Diese Resultate, welche die artesischen Brunnen geliefert haben, überheben uns, hier auf die Temperatur der warmen Quellen oder Thermen noch als weiteren Beleg für die mit der Tiefe zunehmende Temperatur der Erde näher einzugehen. Wir verweisen deshalb auf den Artikel: Quelle; ebenso ist der Artikel: Vulkan wegen des hier in Rede stehenden Gegenstandes zu vergleichen.

Ungeachtet so zahlreicher Zeugnisse für die Zunahme der Temperatur der Erde beim Eindringen in die Rinde derselben, hat man doch andere Erscheinungen als Gegenbeweis geltend zu machen gesucht und zwar die Abnahme der Temperatur des Wassers in Landseen und in den Meeren. Hieraus hat man sich sogar zu dem Schlusse für berechtigt gehalten, daß die ganze Erde eine von Kälte erstarrte Masse sei, welche nur an ihrer Oberfläche durch die Sonnenstrahlen erwärmt werde.

Landseen haben, wie die Beobachtung gelehrt hat, in bedeutenden Tiefen eine constante Temperatur von etwa 5^0 C., indem das Wasser bei etwa 4^0 C. seine höchste Dichtigkeit erlangt und daher soweit erkältet immer zu Boden sinkt. (Vergl. Artikel Eis. Bd. II. S. 605). So fand v. Saussure:

See	An d. Oberfläche	Am Boden	Zugehörige Tiefe
Genfer See . . .	21^0,2	6^0,1	49 Meter
Thuner See . . .	19,0	5,1	114 „
Brienzer See . . .	19,4	4,8	162 „
Luzerner See . . .	20,3	4,9	195 „
Bodensee	18,1	4,5	120 „
Lago Maggiore . .	25,0	6,7	109 „
Neufchateler See . .	23,1	5,0	106 „
Bieler See . . .	20,7	6,9	70 „

De la Beche fand im Genfer See:

Tiefe	Temperatur	Tiefe	Temperatur	Tiefe	Temperatur
1 Toisen	15^0,6	20 Toisen	7^0,9	40 Toisen	5^0,1
10 „	13,2	25 „	7,1	bis	stets
15 „	10,9	30 „	5,8	151 Toisen	5,1

Im Thuner See fand derselbe an der Oberfläche 15^0,5 C.; in 14 Toisen Tiefe 5^0,5 und in 36 Toisen 5^0,6. Humboldt beobachtete die Temperatur der

*) L'Instit. 1853. Febr. 9. p. 53.

Luft am Gestade des Bartholomäussees in Berchtesgaden 17°,7; über der Mitte des Sees 16°; in 2 F. Tiefe 7°,7; in 42 F. 6°,2; in 60 F. 5°; in 84 F. an einer anderen Stelle 5°,8.

Da nach diesen Beobachtungen *) selbst bei Tiefen über 300 Fuß die Temperatur des Wassers noch gegen 5° C. beträgt, so erhalten wir hierin gerade einen Beweis, daß das Wasser in diesen Tiefen nicht blos von obenher, sondern jedenfalls auch von dem Boden Wärme erhalten haben müsse; denn diese Beobachtungen wurden im Sommer angestellt, und wenn auch im Winter das bis zum Punkte der größten Dichtigkeit abgekühlte Wasser niedersinken mußte, so hätte doch im Sommer in solchen Tiefen die Temperatur nicht bis über diesen Punkt sich erheben können, wenn eben nicht noch von anders woher, als von oben eine Wärmemittheilung stattgefunden hätte.

Das Meer (über die anderen Verhältnisse desselben vergl. Artikel Meer) zeigt ebenfalls ein fortgehendes Abnehmen der Tempetur nach der Tiefe zu, ohne daß es jedoch bei einer Erkältung unter 0° zu Eis erstarrt, wovon sein Salzgehalt die Ursache ist (Vergl. Artikel Eis Bd. II. S. 609). Peron **) beobachtete am 31. Aug. unter 69° n. Br. die Temperatur der Luft 7° C.; des Meeres an der Oberfläche 3°,6; in 1232 Meter Tiefe 0°. Am 20 Juni unter 67° n. Br. war die Temperatur der Luft 7°, die der Oberfläche des Meeres 0° und in 1430 Meter Tiefe — 2°,7 C. Horner ***) hat sich mehrmals mit der Temperatur des Meeres beschäftigt; nach ihm tritt im Meere auf einer gewissen Tiefe eine con- constante Wärme ein, jedoch macht er schon auf die Abhängigkeit von der Breite aufmerksam. Folgende Zusammenstellung giebt die Meeres-Temperatur nach Graden R. und Faden zu 6 F. engl. nach den verschiedenen Breiten und Beobachtungszeiten an:

in der Südsee	in 23° n. Br	in 120	Fuß	Tiefe	= 13°,3	im	Juni.
im Japan. Meere	in 27 = =	= 100	=	=	= 14,3	=	Nov.
im Atlant. =	in 30 = =	= 110	=	=	= 13,5	=	Juni
im Ochotzk. =	in 53 = =	= 15	=	=	= — 1,5	=	Aug.

In 100 Faden Tiefe, wo die meisten Messungen angestellt worden waren, ergaben sich folgende Temperaturen:

in 18°	südl. Br.	4°,8	in 9°	nördl.	Br.	17°,2
= 15	= =	4,5	= 28½	=	=	7,7
= 1	nördl. =	11,3	= 36½	=	=	7,7

Roß ****) fand die Temperatur des Meeres

am 26. Juli	unter 75° 30′	n. Br. an der Oberfläche	1°,1	in 314	Faden	Tiefe 0°
= 1. Sept.	= 73° 37′	= = = = =	1,4	= 80	=	= 0°
				= 250	=	= —1°,4
= 6. =	= 72° 23′	= = = = =	—	= 1005	=	= —2°

*) Vergl. Berghaus, allgemeine Länder- und Völkerkunde. Bd. II. S. 377.

**) Péron Voyage. T. II. p. 327.

***) Krusenstern's Reise. Bd. III. S. 131; Kotzebue's Reise. Bd. II. S. 233.

**) Roß's Entdeckungsreise S. 109 und 121.

am 19. Sept. unter 66° 50′ n. Br. an der Oberfläche — { in 100 Fad. Tiefe — 1°
= 200 = = — 1°,6
= 400 = = — 2°,3
= 660 = = — 3°,6

= 4. Octbr. = 61° 41′ = = = = = 5° = 950 = = — 2°

Fast auf allen größeren Seereisen sind derartige Beobachtungen *) angestellt; wir verweisen hier besonders noch auf den Artikel Meer und führen nur noch folgende an. Auf der Weltreise des Schiffes Bonite fand man **):

unter 29° 23′ n. Br. und 37° 6′ westl. Länge von Paris in 1660 Faden Tiefe 6°,7 C., an der Oberfläche 23°,8

unter 16° 49′ n. Br. und 118° westl. Länge von Paris in 1300 Faden Tiefe 5°,5 C., an der Oberfläche 29°,3

unter 28° 22′ n. Br. u. 132° 8′ östl. Länge v. Paris in 800 Faden Tiefe 4°,9 C.

4°,9 war die niedrigste unter allen gemachten Beobachtungen.

Lenz ***) giebt folgende Resultate:

Nördliche Breite		Westl. Länge v. Greenwich		Tiefe in Toisen	Corrigirte Temperatur C.	Bemerkungen
7°	20′	21°	59′	0	25,80	October 1823,
—	—	—	—	539	2,20	Atlantischer Ocean.
21	14	196	1	0	26,40	Mai 1824,
—	—	—	—	140,7	16,36	Südsee.
—	—	—	—	413,0	3,18	
—	—	—	—	665,1	2,92	
—	—	—	—	914,9	2,44	
25	6	156	58	0	21,50	Februar 1825,
—	—	—	—	167	14,00	Südsee.
32	6	136	48	0	21,45	August 1825,
—	—	—	—	89,8	13,35	Südsee.
—	—	—	—	214,0	6,51	
—	—	—	—	450,2	3,75	
—	—	—	—	592,6	2,21	
32	20	42	30	0	20,86	Mai 1826,
—	—	—	—	1014,8	2,24	Atlantischer Ocean.
41	12	141	58	0	19, 2	August 1825,
—	—	—	—	205,0	5,16	Südsee.
—	—	—	—	512,1	2,14	
45	53	—	17	0	14,64	Mai 1826,
—	—	—	—	197,7	10,36	Atlantischer Ocean.
—	—	—	—	396,4	9,95	

*) Vergl. Berghaus, allgemeine Länder= und Völkerkunde. 1837. Bd. I. S. 502—507.

**) Poggend. Ann. Bd. XLIII. S. 419 u. Compt. rend. T. V. p. 847.

***) Poggend. Ann. Bd. XX. S. 73 ff.

Später hat Lenz *) diesen Gegenstand noch weiter verfolgt und mit Rücksicht darauf, wie die Abnahme der Temperatur mit der Zunahme der Tiefe in verschiedenen Breiten sich verhalte, giebt er für den atlantischen und stillen Ocean folgende Tabelle.

Atlantischer Ocean.

Breite	Tiefe in engl. Fußen	Temperatur C.	Mittel für Zonen von 3° Breite: Tiefe	Mittel für Zonen von 3° Breite: Temperatur	Mittel für Zonen von 3° Breite: Temp. an der Oberfläche
48°—45°	480	11,3	458	12,0	16,3
	462	12,3			
	432	12,3			
42—39	438	14,7	438	14,7	17,8
39—36	432	15,6	418	16,2	20,4
	444	16,4			
	378	16,7			
36—33	444	16,8	447	16,7	22,4
	450	16,7			
33—30	390	15,5	390	15,5	22,2
30—27	366	19,0	403	18,7	23,1
	450	18,5			
27—24	432	20,5	432	20,5	24,4
24—21	468	20,8	414	20,6	24,6
	366	20,4			
21—18	468	20,1	468	20,1	24,5
18—15	432	20,2	408	19,3	25,3
	384	18,5			
15—12	390	14,5	390	14,5	24,6
12—9	390	15,2	390	15,2	26,2
9—6	432	14,4	400	14,4	26,5
	366	14,5			
6—3	414	13,3	460	14,3	27,9
	474	13,5			
	468	14,3			
	480	15,1			
	462	15,0			
3—0	480	14,8	435	14,5	28,6
	480	14,6			
	468	14,0			
	414	14,4			
	336	15,0			

*) Poggend. Ann. Ergänzungsbl. 2 oder 72 b S. 615 ff.

Südliche Halbkugel.

Breite	Tiefe in engl. Fußen	Temperatur C.	Mittel für Zonen von 3° Breite: Tiefe	Temperatur	Temp. an der Oberfläche
0°—3°	480 480	13,9 13,9	480	13,9	28,3
3—6	432 378	13,3 14,0	405	13,6	27,6
6—9	336 366	15,0 17,8	351	16,4	27,0
9—12	420 432	15,6 18,5	426	17,0	26,1
12—15	366 336	15,4 16,7	351	16,0	24,6
15—18	276 334	17,0 14,5	305	15,7	23,2
18—21	390 366	17,0 16,0	378	16,5	22,9
33—36	324 516	17,8 16,8	420	17,3	20,8

Hieraus ergiebt sich, daß in der Tiefe von etwa 420 F. die Temperaturen von 48° bis 27° nördl. Br. wachsen von 12° bis 20°,5 C.; diese letztere Temperatur erhält sich bis 20° nördl. Br., dann aber nimmt die Temperatur wieder ab und bleibt von 15° nördl. Br. bis zum Aequator constant, etwa 14,5° C.; bis 10° südl. Br. haben wir auch dieselbe Temperatur, von dort an steigert sich dieselbe, aber aus Mangel an Beobachtungen kann sie nicht weiter als bis 21° verfolgt werden.

Nördlicher stiller Ocean.

Nördl. Breite	Tiefe in engl. Fußen	Temperatur C.	Mittel für Zonen von 3° Breite: Tiefe	Temperatur	Temp. an der Oberfläche
39—36	600	11,5	600	11,5	16,1
36—33	600 600	10,6 11,5	600	11,0	22,2
33—30	600	16,7	600	16,7	24,3
30—27	600 300	19,5 22,0	450	17,8	25,0

Nördl. Breite	Tiefe in engl. Fußen	Temperatur C.	Mittel für Zonen von 3° Breite		
			Tiefe	Temperatur	Temp. an der Oberfläche
21° — 18°	438 366	21,2 16,1	402	20,7	26,8
18 — 15	456 540	19,5 20,4	498	20,8	27,7
15 — 12	558	16,3	558	16,3	27,8
12 — 9	468 492 438 600	19,4 13,5 14,0 19,5	499	16,6	28,8
9 — 6	600	13,4	600	13,4	30,5

Diese Temperaturabnahme in der Tiefe des Meeres ist gleichwohl kein Beweis gegen die höhere Temperatur des Erdinnern. In höheren Breiten sollte man, da das Meerwasser keinen Punkt größter Dichtigkeit, wie das süße Wasser, vor dem Gefrieren erreicht, in der Tiefe Wasser von fast — 4°, dem Gefrierpunkte des Meerwassers, erwarten und da dies nicht der Fall ist, so dürfte man auf eine Wärmeaufnahme von dem Boden her zu schließen berechtigt sein.

Die Temperaturzunahme nach der Tiefe hin, läßt sich nicht läugnen. Wir kennen zwar das Gesetz dieser Zunahme noch nicht vollständig, doch scheint die Tiefenstufe mit dem tieferen Eindringen größer zu werden, so daß man endlich eine stationäre Temperatur antreffen würde. Nehmen wir mit v. Humboldt eine gleichbleibende Tiefenstufe von 92 Par. Fuß an, (nach Munke 100 Par. Fuß, nach Bischof 97′,5), so würden wir in einer Tiefe von 5,2 geogr. Meilen eine Granit schmelzende Glühhitze erhalten, nämlich 1300° C., was nach Mitscherlich der Schmelzpunkt des Granites ist. Wir werden somit dahin gedrängt, das Innere der Erde uns in einem feurigflüssigen Zustande zu denken.

Außer diesem von der Wärmezunahme beim Eindringen in das Innere der Erdrinde hergenommenen Beweise für den feurig flüssigen Zustand des Erdinnern haben wir noch mehrere.

Daß die Erde in einem flüssigen Zustande gewesen sein müsse, dafür spricht am entschiedensten die Abplattung derselben. Dieser flüssige Zustand konnte nur durch das Feuer herbeigeführt sein oder nur durch das Feuer bestehen, denn allein die Wärme ist vermögend alle Stoffe in einen tropfbar-flüssigen Zustand zu versetzen. Sollte man dem Wasser, wie die Neptunisten thaten, diese Rolle der Auflösung zuschreiben wollen, so ist man gezwungen, die Wärme wieder als Helferin herbeizurufen, da das Wasser nur durch sie in Dampfform bestehen kann. Ferner ist die auflösende Kraft des Wassers so gering, daß man eine weit größere Wassermenge zu Hülfe nehmen müßte, als auf der Erde vorhanden ist, und wenn man annehmen wollte, daß auch früher die nöthige Menge vorhanden gewesen sei,

so bleibt wieder die Frage unbeantwortet, wohin diese Wassermasse gekommen sein könnte.

Ferner spricht für eine ursprünglich höhere Temperatur der Erde die vormalige Existenz lebendiger Wesen an solchen Stellen der Erdoberfläche, wo sie jetzt erfrieren oder doch der Kälte wegen keine Nahrung finden würden.

Woher die Erde ihre Wärme ursprünglich erhalten habe, läßt sich, zumal wir die Temperatur des Erdinnern nicht genau kennen, nicht mit Gewißheit entscheiden. Nach Poisson *) hatte die anfänglich allerdings ganz flüssige Erde sich in ihrer ganzen Masse bereits vollständig und gleichförmig abgekühlt, indem die inneren heißeren und daher leichteren Theile in noch flüssigem Zustande beständig gegen die Oberfläche aufstiegen und die schon abgekühlten schwereren untersanken, — und die Erde war unter dem Drucke von 30 Millionen Atmosphären von innen heraus erstarrt. Da wurde sie, bereits ganz erkaltet, in irgend eine unbekannte heiße Gegend des Himmels-Raumes, die ihre Hitze von noch glühenden Welt-Körpern empfängt, so lange herumgetrieben, bis sie wieder von außen hinein auf eine beträchtliche Tiefe glühend geworden war und endlich vor Millionen Jahren in die jetzige Gegend des Himmels gelangte, um sich aufs Neue abzukühlen. — Büffon **) nahm an, daß die Erde als ein von der Sonne durch einen Kometen abgestoßener Theil, ursprünglich im Zustande der Glühhitze, allmälig erkaltet sei, noch gegenwärtig aber im Centrum eine der Glühhitze fast gleiche Temperatur behalten habe, in langen Perioden erkalte und zuletzt durch gänzliche Erstarrung unbewohnbar werden müsse. Fourier ***) ist der Ansicht, daß die Erde von einer Hitze, welche die des weißglühenden Eisens noch wohl um vieles übertraf, in einen tief unter dem Eispunkte kalten Raum versetzt sei und in diesem viele Jahrhunderte hindurch allmälig erkaltete, bis sie in den gegenwärtigen stationären Zustand gekommen sei. (Wir haben Büffon's und Fourier's Hypothesen unmittelbar auf einander folgen lassen, um ihre geringe Verschiedenheit um so mehr hervortreten zu lassen). — Humphry Davy sucht wenigstens die in den Vulkanen sich entbindende Wärme zu erklären und leitet sie ab von der Vereinigung des Sauerstoffs mit leichten Alkali- und Erd-Metallen unter Mitwirkung von Wasser, im Verhältniß als das früher durch Expansion ferngehaltene Sauerstoffgas und das Wasser durch Klüfte und Spalten der Rinde bis zu den noch nicht oxydirten Schichten der Erde eindringen können, um sich mit den am leichtesten oxydirbaren der dort befindlichen Stoffe vorzugsweise zu verbinden. Gay-Lussac u. Berzelius sind vorzugsweise als Gegner dieser Theorie aufgetreten — Das Nähere im Artikel Geologie. Nur des historischen Interesses wegen sei hier noch bemerkt, daß man früher um die vulkanischen Erscheinungen zu erklären, ein Centralfeuer annahm, ohne zu bedenken, daß ein Brennen in einem eingeschlossenen Raume nicht stattfinden könne. Schon Gassendi hat diese Annahme widerlegt ****).

---

*) Théorie mathém. de la chaleur. p. 421.

**) Histoire nat. générale et particulière. T. I. u. Suppl. T. IX. u. X. Paris 1778.

***) Extrait d'un Mém. sur le Refroidissement séculaire de Globe terrestre; in Ann. de Ch. et Ph. T. XIII. p. 418.

****) Dies Centralfeuer ist übrigens nicht zu verwechseln mit dem der Pythagoräer. Pythagoras hielt die Erde für eine freischwebende Kugel mit fortschreitender planetari-

Lassen wir hier dahingestellt, woher die Erde ihre Wärme erhalten habe; so viel steht fest, daß dieselbe sehr hoch gewesen sein und, da der Schmelzpunkt des Platins, wenn die Guyton de Morveau'schen Bestimmungen der Wedgewoodschen Grade zu Grunde gelegt werden, 6050° C. beträgt, mindestens 6000° C. erreicht haben müsse. In irgend einer Periode wird die Erde aus einem tropfbar flüssigen Kerne, umgeben von einer elastisch flüssigen Hülle, bestanden haben; in dem kalten Weltenraume, dessen Temperatur jedenfalls noch unter — 56°,7 C. liegt, da man am 17. Januar 1834 unter 63° $46^1/_2$' n. Br. und 109° 0' 39'' w. L. von Greenwich im Fort Reliance diesen Kältegrad beobachtet hat *), fühlte sie sich von außen nach innen ab, und nach einer allerdings nicht näher angebbaren Zeit mußte ein Theil der flüssigen Massen und zwar an der Oberfläche des flüssigen Kernes, da von hier die Abkühlung ausging, in den festen Zustand übergehen. Nach Verlauf von Millionen von Jahren mußte endlich ein constantes Verhältniß eintreten, indem allmälig der Wärmeverlust durch die Abkühlung und die Wärmezunahme durch die Sonnen- und Sternenwärme in den Zustand des Gleichgewichts traten.

Der Abkühlungsproceß ist natürlich wegen der vielen dabei in Betracht kommenden Elemente ein sehr verwickelter; doch übersieht man, daß derselbe immer langsamer von Statten gegangen sein müsse, je mehr der Unterschied zwischen der Wärme des Erdkörpers und der des Weltenraumes sich verkleinerte. Hatte sich nur erst eine feste Rinde gebildet, so wurde durch die fortwährende Zunahme der Dicke derselben, da sie aus schlechten Wärmeleitern besteht, die Abkühlung noch mehr verzögert, endlich mußte die Dicke der Rinde so hemmend auf die Abkühlung wirken, daß dadurch fast ein gänzlicher Stillstand eintrat, wenigstens so weit, daß Verlust einer Seits und Wärmeaufnahme anderer Seits sich compensirten. Nach Fourier schreitet gegenwärtig die Wärmeabnahme so langsam fort, daß sie in 30000 Jahren noch nicht um die Hälfte der mittleren Wärme abnehmen kann und die Verminderung daher seit der Schule von Alexandrien bis jetzt noch nicht $^1/_{300}$ Grad C. beträgt. Dies Resultat Fourier's bestätigt La Place **). Da nämlich das Volumen eines Körpers durch seine Temperatur bedingt wird, indem die Wärme ausdehnend auf alle Körper wirkt, so müßte auch bei der Erde eine Temperaturveränderung eine Veränderung des Volumens zur Folge haben. Die nothwendige Folge von dieser wäre aber wieder eine Veränderung der Rotation (Achsendrehung). Nach La Place's Berechnung würde eine Verminderung der mittleren Erdwärme von 1° C. eine Verminderung der Rotation von zwei Cente-

scher Bewegung. Im Centrum der Bewegung stand das Centralfeuer und um dieses bewegte sich die Erde, demselben stets dieselbe Kugelhälfte zukehrend, also in gleicher Weise wie der Mond seinen Lauf um die Erde macht: die dem Pythagoras bekannte Erdhälfte war die dem Centralfeuer abgewendete Hälfte der Erde, so daß dasselbe nicht erblickt werden konnte. Die Erde hatte einen Umlauf von 24 Stunden, die Sonne einen solchen von einem Jahre, und diese theilte der von dem Centralfeuer abgewendeten Hälfte der Erde Licht und Wärme mit, welches sie selbst erst von dem Centralfeuer erhalten hatte. Vergl. Gruppe, die kosmischen Systeme der Griechen. 1851. Absch. V.).

*) Poggend. Ann. Bd. XXXVIII. S. 235. Compt. rend. 1836. No. 24. p. 575.

**) Ann. Chim. et Ph. T. XI. p. 36; T. XIII. p. 410; T. XIV. p. 315; Méc. cél. V. p. 18 und besonders p. 72. Journ. de Phys. T. XC. p. 403; auch Con. des Temps. 1822 und Bibl. univ. T. XII. p. 156.

stimalsecunden bewirken. Es ist aber bewiesen, daß die Erde seit Hipparch (um 150 v. Chr. Geb.) ihre Rotation noch nicht um $^1/_{100}$ Sec. verändert hat; also, schließt La Place, kann sich auch nicht das Volumen, also auch nicht die mittlere Erdwärme verändert haben. Diesen Beweis stützt Gay-Lussac *) noch durch andere Belege, hergenommen aus dem Gedeihen verschiedener Culturgewächse in einigen Erdstrichen. Die Dattelpalme bringt nur bei einer mittleren Jahrestemperatur von 21° reife Früchte, der Weinstock aber kann da nicht mehr gebaut werden, wo die mittlere Temperatur 22° übersteigt. Nun ist die mittlere Temperatur von Palästina, welches zu Moses Zeiten Datteln und Trauben hervorbrachte, hiernach ungefär 21°,5, und da die mittlere Temperatur daselbst in jetziger Zeit noch dieselbe ist, so folgt hieraus, daß sich seit 3300 Jahren das Klima von Palästina sicher nicht merklich geändert haben kann. Strabo berichtet, daß die Cevennen in Gallia narbonensis die nördliche Grenze des Oelbaumes bildeten. Dies ist heute noch der Fall. Nach Theophrast konnten von der in Griechenland aus Persien eingeführten Cordia myxa nur in Cypern genießbare Früchte erhalten werden, nicht nördlicher, ebenso in unseren Tagen. Varro setzt die Weinlese bei Rom zwischen den 21. Septbr. und den 23. Octbr. Sie fällt jetzt im Durchschnitt vieler Jahre auf den zweiten October 2c.

Um die Abkühlungszeit der Erde festzustellen hat G. Bischof **) eine Reihe von Versuchen mit Basaltkugeln von 24, 27, 23 und 9,66 Zoll Durchmesser, welche er im kugelförmigen Tiegeln schmolz und dann abkühlen ließ, angestellt. Da im flüssigen Basalt der Kupfer-, aber nicht der Eisendraht schmolz, so muß dessen Temperatur wenigstens 1562° C. gewesen sein. Der Gang der Abkühlung wurde erst von 288° C. an genau beobachtet. Die kleinste Kugel zeigte diese Temperatur bereits nach 8 Stunden und die Abkühlung erfolgte nun an der Oberfläche in einer geometrischen Progression, deren Exponent nach 12stündigen Zwischenräumen = 2,1704 war. Aus den Beobachtungen der beiden anderen Kugeln ergab sich, daß die Abkühlungen zweier ungleich großen Kugeln von gleicher Materie und gleichen Temperatur-Ueberschüssen über das umgebende Medium sich in gleichen Zeiten genau umgekehrt wie die Durchmesser verhalten (a. a. O. S. 505). Wäre nun die Wärmeleitungsfähigkeit der Erde dieselbe wie bei dem Basalte, so hätte dieselbe zu einer Abnahme von 288° C. bis auf 0,013° C. über die Temperatur des Weltraumes 353 Millionen Jahre nöthig gehabt. Arago nimmt die Zusammenziehung der ganzen Erdmasse beim Erkalten nur ebenso groß an, als beim Glase, nämlich = 0,000897 für 100° C. und berechnet für eine Abkühlung um 1° R. die Veränderung der Tageslänge. Er kommt schließlich zu dem Resultate, daß zu einer Abnahme um 1° R. 344828 Jahre erforderlich sein würden.

Wie die an ihrer Oberfläche erstarrende Erdkugel durch die im Innern noch thätigen Kräfte ihre gegenwärtige Oberflächen-Gestaltung gewonnen hat, darüber verweisen wir auf den Artikel Geologie. Ebenso verweisen wir hinsichtlich der übrigen auf die Erde bezüglichen Verhältnisse auf die betreffenden Artikel, namentlich in Betreff der magnetischen Erscheinungen auf den Artikel Magnetismus der Erde. H. E.

---

*) Ann. de Chim et Phys. T. XXVII. p. 407. Vergl. auch Dove's meteorol. Untersuchungen. 1837. S. 95.

**) Wärmelehre. 1837. S. 466 — 505.

Erden nennt man eine gewisse Klasse von basischen Oxyden. Man theilt sie gewöhnlich ein in alkalische und in eigentliche Erden. Die alkalischen Erden sind: Baryterde, Strontianerde, Kalk- u. Talkerde; die eigentlichen Erden: Thonerde, Beryllerde, Thorerde, Yttererde und Zirkonerde, zu denen vielleicht auch Erbium- und Terbiumoxyd, so wie Cer-Didym- und Lanthanoxyd, welches letztere in seinen Eigenschaften den alkalischen Erden sehr ähnlich ist, gerechnet werden können, obwohl sie zum Theil farbig sind. Die Kieselsäure wurde früher auch zu den Erden gezählt.

Die alkalischen Erden führen ihren Namen, weil sie im Allgemeinen die Eigenschaften der Alkalien besitzen (s. d. Art.). Die eigentlichen Erden sind farblose im Wasser ganz unlösliche Körper, reagiren nicht alkalisch, und sind nur in den höchsten Temperaturen schmelzbar. Ihre Verwandtschaft zu den Säuren ist geringer, als die der alkalischen Erden und Alkalien, sie werden von letzteren aus ihren Salzen in Form gelatinöser Niederschläge gefällt.

Früher hielt man die Erden für einfache Körper; Davy jedoch zeigte zuerst, daß sie Verbindungen von Metallen mit Sauerstoff sind. Diese Metalle — Erdmetalle, — können aus ihren Oxyden durch Reduction mittelst Wasserstoff oder Kohle nicht dargestellt werden, sondern durch Zersetzen ihre wasserfreien Chlorüre mit Kalium oder Natrium. Ihren Eigenschaften nach stehen sie zwischen den Alkalimetallen und den eigentlichen Metallen, besitzen ein niedrigeres specifisches Gewicht als die letzteren und bilden mit den Alkalimetallen die Gruppe der leichten Metalle. Sie sind alle schwerer als Wasser, schwer schmelzbar, nur im pulverförmigen Zustande bekannt, und nehmen unter dem Polirstahl mehr oder weniger starken Metallglanz an; sie oxydiren sich bei gewöhnlicher Temperatur nicht an der Luft und im Sauerstoffgase, in der Wärme jedoch verbrennen sie namentlich im letzteren mit starker Wärmeentwickelung. Wasser zersetzen sie gar nicht oder nur sehr langsam, oder unter Mitwirkung einer Säure. H. Mt.

Erdfall, s. Geologie.

Erdferne und Erdnähe, Apogäum (v. d. griech. ἀπό von und γῆ Erde) und Perigäum (v. d. griech. περί bei und γῆ) heißen der fernste und der nächste Punkt, in welchem der Mond auf seiner Bahn um die Erde sich befindet, also die beiden Endpunkte der Apsidenlinie der Mondbahn. Auch andere Himmelskörper, welche der Erde merklich näher und ferner zu stehen kommen, haben Erdferne und Erdnähe. Die unteren Planeten sind der Erde am nächsten, wenn sie zwischen ihr und der Sonne (untere Conjunction) stehen, am fernsten, wenn sie hinter der Sonne (obere Conjunction) vorbei gehen. Die oberen Planeten sind in der Erdferne, so oft sie hinter der Sonne sich befindend mit dieser in Conjunction stehen; in der Erdnähe, wenn sie mit der Sonne in Opposition stehen, um Mitternacht im Meridian erscheinen. Es ist natürlich, daß die Planeten und der Mond in der Erdnähe größer als in der Erdferne erscheinen. Früher gebrauchte man die Ausdrücke Erdferne und Erdnähe auch für die Sonne und die Planeten. Hieraus folgt, daß das Sonnen-Perigäum gleichbedeutend mit dem jetzigen Erdperihelium und daß das Sonnen-Apogäum identisch mit dem jetzigen Erdaphelium ist. Jahn.

Erdmagnetismus, s. Magnetismus der Erde.

Erdöl, s. Steinöl.

Erdpech, s. Asphalt.

Erdtrombe, s. Wettersäule.

Ergänzungsfarben, s. Farbe.

Erhebungskrater, s. Krater.

Erhebungssysteme der Berge, s. Berg. Bd. I. S. 797.

Erkaltung, s. Wärme.

Erleuchtung, s. Licht.

Erze heißen die in der Natur vorkommenden Verbindungen der sogenannten schweren Metalle. Die gewöhnlichsten Vererzungsmittel sind Schwefel, Arsen und Sauerstoff. Erze finden sich in allen Gebirgsformationen, in größeren Tiefen vermuthlich auch in größeren Mengen, wenigstens läßt sich aus dem hohen specifischen Gewicht des ganzen Erdkörpers (= 5) im Vergleich zu dem durchschnittlichen Gewicht der Erdrinde (= 3) schließen, daß das Erdinnere reicher an Metallen ist, als diese. Die Vertheilung der Erze in den Formationen und über die ganze Oberfläche ist sehr ungleichmäßig, so daß manche Gebirge äußerst arm daran sind, während man in andern, bis weilen auf sehr kleinem Areale einen großen Reichthum an Metall antrifft. Die älteren Gebirgsschichten sind im Allgemeinen reicher als die jüngeren; Gneuß, Granit und Thonschiefer führen den größten Reichthum an Erz. Nach der Art ihres Vorkommens, ohne Rücksicht auf ihre Entstehung theilt man die Erzfundstätten ein in Lager, Gänge und Nieren.

H. Rt.

Essigsäure, Acetylsäure, Acidum aceticum. Formel $C_4 H_4 O_4$ oder $C_4 H_3 O_3 + HO$. Chem. Zeichen $\overline{Ac}$ oder $\overline{A}$.

Diese Säure, welche unter allen organischen Säuren am längsten bekannt ist, entsteht durch Zersetzung vieler organischer Körper unter sehr mannichfaltigen Umständen. Sie bildet sich aus Holz (Holzessig), Gummi, Zucker 2c. bei der trocknen Destillation oder Zersetzung in höherer Temperatur, bei Einwirkung oxydirender Substanzen, z. B. Salpetersäure, Chromsäure, Schwefelsäure mit Superoxyden auf organische Körper, beim Schmelzen von Weinsäure, Aepfelsäure, Citronensäure, Zucker 2c. mit Kalihydrat. Die wichtigste Entstehungsweise ist jedoch die aus Alkohol durch Oxydation desselben an der Luft unter dem Einflusse eines eigenthümlichen Ferments; nach Liebig geht diese Bildung in der Weise vor sich, daß sich zwei Aequivalente Wasserstoff des Alkohols ($C_4 H_6 O_2$) mit Sauerstoff aus der Luft zu Wasser verbinden und aus dem Alkohol ein neuer Körper entsteht, Aldehyd = $C_4 H_4 O_2$, welcher bei hinreichendem Luftzutritt 2 Aequivalent Sauerstoff aufnimmt und sich nun in Essigsäure verwandelt. Bei der freiwilligen Zersetzung organischer Körper (Fäulniß 2c.) entsteht sie wahrscheinlich häufiger als man bis jetzt beobachtet hat; Nöllner und Nicklis fanden sie unter den Zersetzungsproducten des weinsauren, Personne unter denen des citronensauren Kalks; Liebig hat sie im fauligen Harn nachgewiesen. Im Safte lebender Pflanzen scheint sie nicht zu existiren, wenigstens sind die hierauf bezüglichen Thatsachen noch sehr spärlich und die Angaben über ihr Vorkommen nicht ganz sicher.

Der Essig ist eine sehr verdünnte Auflösung von Essigsäure in Wasser, die durch Oxydation alkoholhaltiger Flüssigkeiten, Bier, Wein, Obstwein, Branntwein, an der Luft dargestellt wird (die sogenannte saure Gährung). Diese Bildung ist wesentlich an folgende vier Bedingungen geknüpft, angemessene Verdünnung der alkoholischen Flüssigkeit, Luftzutritt, ein fermentartiger Körper, Wärme. Der Flüssigkeit müssen möglichst viele Berührungspunkte mit der Luft dargeboten werden, damit das gebildete Aldehyd sich sogleich oxydiren kann. Da vorzüglich diese

Bedingung bei der älteren Methode Essig zu bereiten nur sehr unvollkommen erfüllt war, konnte sie auch erst nach verhältnißmäßig langer Zeit Essig liefern; sie bestand darin, daß man die betreffenden Flüssigkeiten mit Hefe ꝛc. in offenen Fässern oder Krügen der Luft aussetzte, wobei natürlich nur an der Oberfläche Oxydation erfolgen konnte. Gegenwärtig stellt man den Essig nur nach der neuern Methode, der Schnellessigfabrikation dar, welche mit Berücksichtigung der oben bezeichneten nothwendigen Bedingungen, schon nach einigen Stunden Essig liefert. Sie besteht im Wesentlichen darin, daß man 9 bis 10procentigen Branntwein langsam durch einen mit Holzspänen gefüllten hohen Bottich fließen läßt, in welchen durch passend angebrachte Oeffnungen fortwährend von außen Luft eindringt und den ganzen Prozeß in einem auf 20⁰ bis 30⁰ erwärmten Raume vornimmt. Guter Essig enthält bis 5 Proc. wasserfreie Essigsäure.

Aus Essig kann man durch Destillation Essigsäure darstellen; am besten aber gewinnt man diese durch Zersetzung eines essigsauren Salzes mittelst trockner Destillation oder einer starken Säure. Im Großen wird sie auf ähnliche Art aus Holzessig bereitet, indem man denselben mit einer Basis sättigt, das durch Abdampfen erhaltene krystallisirte essigsaure Salz entwässert, mit Säure zersetzt und destillirt.

Die Essigsäure ist im wasserfreien Zustande, in welchen sie die Formel $C_4 H_3 O_3$ besitzt, nicht bekannt, sie existirt in dieser Zusammensetzung nur in den Salzen, aus denen sie aber ohne Zersetzung nicht darstellbar ist. Das Hydrat $C_4 H_3 O_3, HO$, erhalten durch Zersetzung eines wasserfreien essigsauren Salzes, ist eine farblose, klare Flüssigkeit von starkem, angenehm saurem Geruche. Auf die Haut gebracht wirkt es ätzend. Es krystallisirt bei 13⁰ in wasserhellen Spießen und Blättern, mit etwas Wasser gemengt erst bei niedrigeren Temperaturen, siedet bei 120⁰ und bildet dann ein farbloses Gas, welches an der Luft entzündet wie Alkohol mit blauer Flamme brennt, ist in Wasser, Alkohol, Aether und vielen ätherischen Oelen in jedem Verhältniß löslich. An der Luft condensirt es Wasserdämpfe (raucht) und verbindet sich mit dem Wasser.

Die Essigsäure ist eine starke Säure, hat große Verwandtschaft zu Basen, und löst in verdünntem Zustande Eisen, Zink ꝛc. unter Wasserstoffentwickelung; Kupfer, Blei ꝛc. oxydiren sich, wenn sie bei Luftzutritt ihren Dämpfen ausgesetzt werden, und verwandeln sich in essigsaure Salze. Die essigsauren Salze sind meist krystallisirbar, leicht löslich im Wasser und Weingeist (mit Ausnahme des Silberoxyd- und Quecksilberoxydulsalzes, so wie der basischen Salze). Saure Salze kennt man nur vom Kali und Ammoniak; mit mehreren Metalloxyden bildet sie basische Salze, unter denen die des Kupfers und Bleies die wichtigsten sind. Man erkennt die Essigsäure in ihren Salzen durch den charakteristischen Geruch, welchen sie beim Zusammenbringen mit Schwefelsäure entwickeln, durch ihre unlöslichen krystallinischen Silberoxyd- und Quecksilberoxydulsalze und ihr Verhalten gegen Eisenchlorid, welches sie blutroth färbt.

Die wichtigsten Salze sind folgende: Neutrales essigsaures Ammoniak, $\overline{Ac}, NH_4 O$, läßt sich nur schwierig in fester Form erhalten. Die wässerige Auflösung desselben wird unter dem Namen Liquor Ammonii acetici, Spiritus Mindereri als Arzneimittel angewendet. Neutrales essigsaures Kali, $\overline{Ac}, KO$, krystallisirt nur schwierig in langen, dünnen, plattgedrückten Nadeln; es

ist gleichfalls officinell und führt in den Officinen je nach der Darstellung verschiedene Namen. Essigsaures Bleioxyd, neutrales, Bleizucker, $\overline{Ac}$. PbO + HO krystallisirt in farblosen Nadeln und vierseitigen Prismen von anfänglich zuckersüßem, später zusammenziehendem, modrig metallischem Geschmack, verwittert an der Luft und wird durch Kohlensäureabsorption theilweise zersetzt. Es wird fabrikmäßig dargestellt und namentlich zur Gewinnung farbiger Bleisalze vielfach angewendet; ist auch officinell. Der Bleiessig der Officinen ist eine wässerige Auflösung eines basischen Salzes. Neutrales essigsaures Kupferoxyd, $\overline{Ac}$, CuO, krystallisirt in rhombischen Säulen mit schief aufgesetzter Endfläche, ist dunkelgrün und enthält 1 At. Krystallwasser. Mit arsenigsaurem Kupferoxyd giebt es ein Doppelsalz von schön grüner Farbe, unter dem Namen Schweinfurter Grün bekannt. Unter Grünspan versteht man sowohl das neutrale Salz, als auch noch zwei basische Verbindungen mit Kupferoxyd, blauer und grüner Grünspan. Mehrere essigsaure Salze werden in der Färberei als Beizmittel vielfach angewendet, unter denen essigsaures Eisenoxydul, essigsaures Eisenoxyd, essigs. Thonerde die wichtigsten sind. Eine Auflösung von Eisenoxyd in Essigsäure wird auch in der Medicin angewendet.

Essigsaures Aethyloxyd, $\overline{Ac}$, $C_4 H_5 O$, Essigäther, ist eine farblose Flüssigkeit von sehr angenehmem Geruch und brennendem Geschmack, wird im Großen dargestellt, in Alkohol gelöst als Arzneimittel und in geringen Mengen auch zur Verfälschung von Weinen angewandt.

Essiggeist, Essigalkohol, Aceton, $C_3 H_3 O$, ist ein Zersetzungsproduct der Essigsäure in höherer Temperatur, wobei sie in 1 At. Kohlensäure, 1 At. Wasser und 1 At. Essiggeist zerfällt $C_4 H_4 O_4 = C_3 H_3 O + CO_2 + HO$. Werden die wasserfreien essigsauren Salze bei großer Hitze der trocknen Destillation unterworfen, so enthält das Destillat etwas Essigsäure, Aceton und Wasser, der Destillationsrückstand hingegen kohlensaures Salz mit Kohle gemengt. Nach Liebig und Pelouze stellt man diese Flüssigkeit am zweckmäßigsten dar, indem man Essigsäure durch ein rothglühendes Rohr von Eisen, Glas oder Porzellan leitet. Das Product muß sorgfältig gereinigt werden; man erhält dann ein farbloses dünnflüssiges Liquidum von brennendem Geschmack und starkem, dem Essigäther ähnlichem Geruch.

Durch Einwirkung von Chlorgas auf Essigsäure im directen Sonnenlichte bildet sich Chloressigsäure, eine krystallinische Substanz, eine Essigsäure, deren Wasserstoff durch Chlor ersetzt ist $C_4 Cl_3 O_3 + HO$. — Essigsäure verbindet sich auch mit Schwefelsäure und bildet dann die Essigschwefelsäure, welche zahlreiche Salze giebt.

Hinsichtlich der Constitution der Essigsäure wird sie meist als das Oxyd eines Kohlenwasserstoffs, des Radikals $C_4 H_3$ = Acetyl betrachtet, sie ist demnach Acetyl verbunden mit 3 Atom Sauerstoff und 1 Atom Wasser; doch ist dieses Radikal für sich noch nicht dargestellt. Man kennt indeß noch eine andere Oxydationsstufe des Acetyls, das Aldehyd, $C_4 H_4 O_2$, welches man als Acetyloxydhydrat betrachten kann $C_4 H_3 O, HO$; dasselbe bildet sich unter sehr mannichfaltigen Umständen aus Alkohol und Aether, giebt mit Ammoniakgas eine gut krystallisirbare Verbindung, Aldehyd-Ammoniak, und oxydirt sich an der Luft rasch zu Essigsäure.

H. M.

Eudiometer, Eudiometrie. — Die quantitative Bestimmung der Gase und namentlich ihrer Gemenge durch Wägung ist mit zahlreichen und bedeutenden Schwierigkeiten verbunden, so daß sie nur in sehr wenigen Fällen anwendbar ist und angewendet wird, um so mehr, als auch bei der sorgfältigsten Ausführung vollkommen genaue Resultate auf diesem Wege nicht erlangt werden können. Viel sicherer und ungleich genauer lassen sich die Gase nach ihrem Volumen, also durch Messung bestimmen, insbesondere seit Bunsen eine Menge neuer und sinnreicher Methoden zur Trennung der verschiedenartigsten Gase aufgefunden und durch einfache Mittel die Analyse von einer Menge Fehler befreit hat, mit denen dieselbe bis dahin noch behaftet war. Man bedient sich zu dieser Analyse einer graduirten Glasröhre von weiter unten angegebener Einrichtung, des Eudiometers, und nennt im Allgemeinen das Verfahren, gemengte Gase zu trennen und dem Volumen nach quantitativ zu bestimmen, — Eudiometrie. Das Instrument wurde zuerst nur zu Bestimmungen des Sauerstoffgehalts der Luft angewendet, die bald nach der Entdeckung des Sauerstoffs in der Luft durch Priestley, Scheele und Lavoisier von Landriani, Scheele, Gay-Lussac u. A. in großer Zahl ausgeführt wurden. Man erhielt indeß in Folge der Unvollkommenheit der Methoden für den Sauerstoffgehalt der Atmosphäre so veränderliche Resultate, daß man die gesunde und ungesunde Beschaffenheit der Luft der Veränderlichkeit des Sauerstoffgehaltes zuschreiben zu müssen glaubte. Landriani nannte aus diesem Grunde die zu seinen Bestimmungen angewendete graduirte Glasglocke Eudiometer, Luftgütemesser — (von *εὔδιος* gut, heiter und *μετρεῖν*, messen). Später wurde jedoch die constante Zusammensetzung der Luft bewiesen; obwohl nun das Eudiometer seine ursprüngliche Bedeutung verloren hat, ist es doch wegen seiner vorzüglichen Brauchbarkeit zu Gasanalysen beibehalten worden.

Die Bestimmung des Sauerstoffs geschah meist auf die Weise, daß man denselben durch leicht oxydirbare Substanzen aus einem bestimmten Luftvolumen absorbiren ließ und aus der Verminderung des letzteren seine Quantität berechnete. Die Absorptionsmittel waren sehr verschieden und größtentheils zu genauen Messungen nicht geeignet, dazu kam, daß man die Versuche gewöhnlich über Wasser anstellte, welches vorzüglich wegen der Eigenschaft atmosphärische Luft aufzunehmen, Ungenauigkeiten herbeiführen mußte. Landriani mischte mit einem bestimmten Luftvolumen ein bekanntes Volumen Stickoxydgas über Wasser und berechnete $^1/_7$ der Verminderung des Gesammtvolumen als Sauerstoff. Die Schwankungen und Ungenauigkeiten der Resultate nach dieser Methode gründen sich hauptsächlich auf die Thatsache, daß Stickoxydgas und Sauerstoff unter geeigneten Umständen sich zu salpetriger Säure, bald zu Untersalpetersäure, bald zu Salpetersäure verbinden. Scheele wandte eine kalte Lösung von Schwefelkalium, oder frischgefälltes Eisenoxydulhydrat, später ein feuchtes Gemenge von Schwefel und Eisen an. Berthollet bediente sich des Phosphors.

Volta brachte zu einer im Eudiometer gemessenen Luftmenge ein unbestimmtes Volumen Wasserstoff, größer jedoch, als zur Verbrennung des Sauerstoffs hinreichte und entzündete das Gasgemenge auf geeignete Weise durch den elektrischen Funken einer Leydner Flasche, wodurch der gesammte Sauerstoff und eine entsprechende Menge Wasserstoff zu Wasser verbunden wurden. Ein Drittel der Verminderung des Gesammtvolumens ergab die Menge des Sauerstoffs. Das

zu diesen Versuchen von Volta benutzte Eudiometer bestand in einer 10 bis 12 Zoll langen Röhre aus sehr dickem Glase mit höchstens $^1/_2$ Zoll innerem Durchmesser. Am zugeschmolzenen Ende waren in die Wände der Röhre zwei starke Platindrähte einander gegenüber eingekittet, so, daß sie im Innern 1 Linie von einander entfernt waren. Die Röhre selbst war der Länge nach graduirt. Sie wurde mit Quecksilber gefüllt umgekehrt in eine Wanne gestellt, worauf man ein unbestimmtes Volumen der zu untersuchenden Luft eintreten ließ, später ein solches von Wasserstoff. Die Volumina vor und nach dem Vermengen mit letzterem konnten vermöge der Graduirung genau gemessen werden. Unter Berücksichtigung der bei der Verpuffung nothwendigen Vorsichtsmaßregeln und der für Temperatur und Barometerstand nothwendigen Correctionen erhielt Volta u. A. nach diesem Verfahren ziemlich gute Resultate. Da es jedoch noch an manchen Mängeln litt, konnten sie nicht die Genauigkeit erreichen, welche Bunsen nach Beseitigung der Fehlerquellen durch dasselbe Verfahren erlangte.

Döbereiner änderte das Volta'sche Verfahren dahin ab, daß er Sauerstoff und Wasserstoff durch eine aus Platinschwamm und Thon bereitete und geglühte Kugel, welche er an einem Drahte unter Quecksilber in die Gase einführte, mit einander vereinigte. Da jedoch, wie bekannt, poröse Körper und insbesondere fein zertheiltes Platin Gase in ihren Poren condensiren, so können die Differenzen in den Bestimmungen Döbereiners über den Sauerstoff der Luft ꝛc. nicht bloßen Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden.

Bevor Bunsen mit seinen zahlreichen Verbesserungen des Volta'schen Eudiometers und des Volta'schen Verfahrens hervortrat, beschränkte sich der Gebrauch desselben auf Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Kohlensäure, seitdem Bunsen aber viele vortreffliche Methoden zur Trennung und Bestimmung fast aller permanenten Gase eingeführt hat, erlaubt das Eudiometer einen viel ausgedehnteren Gebrauch und es lassen sich Bestimmungen damit ausführen, die an Genauigkeit wenig zu wünschen übrig lassen. Wir verdanken Bunsen eine Menge höchst wichtiger Gasanalysen verschiedener Hohofengase *) und der atmosphärischen Luft, die mit seinem verbesserten Eudiometer ausgeführt sind.

Sein Eudiometer besteht in einer 600 bis 700 Millimeter langen Glasröhre von möglichst gleicher Weite und 19 Millimeter Durchmesser, die Dicke des Glases beträgt bis $1^1/_2$ Millimeter. Am zugeschmolzenen Ende sind wie beim Volta'schen Eudiometer 2 Platindrähte einander gegenüberstehend eingeschmolzen und inwendig so eingebogen, daß sie dicht an den Wänden des Eudiometers anliegend, in der Spitze desselben sich bis auf 3 Millim. nähern. Das Einschmelzen der Drähte muß mit größter Sorgfalt geschehen, so daß sie mit dem Glase vollkommen zusammengelöthet sind. Ihre äußeren Enden werden zweckmäßig zu einem Oehr umgebogen. Die Graduirung der Röhre wird mit einer von Bunsen besonders construirten Theilmaschine ausgeführt, sie ist unabhängig von der Capacität der Röhre an und für sich, man bestimmt daher den Werth der einzelnen Theilstriche in Bezug auf den Rauminhalt der Röhre durch besondere Calibrirung auf die Weise, daß man genau abgemessene gleiche Volumina Quecksilber nach einander in die Röhre gießt und darauf die Höhe der Quecksilbersäule an der Scale

*) Poggend. Ann. Bd. XLVI. S. 193; Bd. L. S. 81 und 637.

genau abliest. Die Art der Theilung erlaubt nicht blos eine größere Genauigkeit in der Graduirung selbst, sondern auch in der Bestimmung des cubischen Inhalts der Röhre.

Bei Bestimmung der Höhe der Quecksilbersäule muß sich nothwendig das Auge des Beobachters in vollkommen horizontaler Ebene mit der Oberfläche der Quecksilbersäule befinden; man kann dies dadurch erreichen, daß man mittelst eines Spiegelstreifens, den man dem Gesicht gegenüber fest an das Eudiometer anlegt, den Mittelpunkt des Auges in der Ebene der Quecksilberoberfläche fixirt, hierauf den Spiegel entfernt und die Höhe der Scala abliest. Besser jedoch geschieht diese Messung mittelst eines in verticaler Richtung verschiebbaren, horizontal gerichteten Fernrohres, das man in 8 bis 12 Fuß Entfernung aufstellt. Die Quecksilbersäule erscheint jedoch stets mit einer convexen Oberfläche; die Höhe der Säule wird daher stets zu hoch gemessen, das Gasvolumen aber zu gering gefunden und somit ein constanter Fehler begangen, wenn dieser Umstand vernachlässigt wird. Um den Fehler zu beseitigen bestimmt man nach Bunsen die Größe desselben ein für allemal auf die Weise, daß man auf die Quecksilberkuppe, deren Höhe gemessen worden ist, einige Tropfen Sublimatlösung gießt, wodurch in Folge der Bildung von Quecksilberchlorür, welches an den Wänden adhärirt, die convexe Oberfläche in eine vollkommen ebene Fläche verwandelt wird. Der doppelte Betrag der gefundenen Niveaudifferenz wird jedem später gemessenen Gasvolumen hinzuaddirt.

Alle Localitäten, in denen eudiometrische Messungen ausgeführt werden sollen, müssen vor raschem Temperaturwechsel möglichst geschützt sein, sind daher am zweckmäßigsten nach Norden gelegen. Genaue Thermometer, welche noch Zehntel-Grade angeben, desgleichen ein genaues Barometer sind unerläßlich. Nach jeder Manipulation mit dem Eudiometer muß, bevor man abliest mindestens $^1/_2$ Stunde vergehen, bis der Apparat die Temperatur der Umgebung wieder erlangt hat; während dieser Zeit darf das Zimmer von Niemand betreten werden; nach Verpuffungen, bei denen sich immer viel Wärme entwickelt, bedarf das Eudiometer längere Zeit bis zur erforderlichen Abkühlung; die Ablesung darf in diesem Falle erst nach 1 bis 2 Stunden geschehen. Statt der Quecksilberwannen von Porzellan rc. bedient man sich lieber eines trogförmig ausgehöhlten massiven Holzblocks, dessen Höhlung etwa 50 bis 70 Pfund Quecksilber faßt, und an der dem Beobachter zugekehrten Seite nicht durch Holz, sondern durch ein starkes Glasstück verschlossen ist; um die Ablesung des unteren Quecksilberniveaus in der Wanne am Fuße des Eudiometers zu erleichtern. Als Sperrflüssigkeit wendet man nie Wasser an, sondern immer Quecksilber, das zu diesem Zwecke von fremden Metallen, vorzugsweise von Zinn und Blei frei sein und besonders gereinigt werden muß. Bei der Füllung des Eudiometers hat man sorgfältig darauf zu achten, daß nicht Luftbläschen zwischen dem Quecksilber und der Glaswand eingeschlossen bleiben. Bunsen gießt das Quecksiber durch einen Trichter, in dessen Hals mittelst eines Korkes eine enge Glasröhre befestigt ist, langsam ein, indem er die Röhre bis auf den Boden einführt; es legt sich, die atmosphärische Luft vor sich hertreibend, spiegelglatt an die Wandung an. Das Eudiometer wird bis zum Ueberlaufen gefüllt, dann oben mit dem Daumen verschlossen und umgekehrt unter Quecksilber geöffnet. Die zu bestimmenden Gase werden dann entweder unmittelbar aus dem Entwicke-

lungsapparate oder aus den Flaschen oder Röhren, in denen sie gesammelt und aufbewahrt worden sind, hineingeleitet.

Die Gase werden entweder vollkommen trocken gemessen oder völlig mit Wasserdampf gesättigt; da das Trocknen indeß sehr zeitraubend ist, so sättigt man das Gasvolumen mit Dampf, im Fall es zu wenig davon enthält, als daß derselbe bei der vorhandenen Temperatur das Maximum seiner Spannkraft erreichen könnte, indem man in das noch leere Eudiometer einen kleinen Wassertropfen bringt; die Tension des Dampfes wird bei der nachfolgenden Correction in Rechnung gebracht. Nicht alle Gasgemenge erlauben jedoch dieses Verfahren; diese werden trocken gemessen.

Die Analyse von Gasgemengen mittelst des Eudiometers zerfällt in die Trennung der absorbirbaren Gase und in die Verbrennung der brennbaren durch Sauerstoff.

Die ersteren werden durch geeignete Absorptionsmittel von einander getrennt, wozu Bunsen keine Flüssigkeiten, sondern feste Substanzen in Form kleiner Kugeln, die an Platindrähten bis in die Mitte des Gasvolumens eingeführt werden, verwendet; diese allein sind zu genauen Versuchen geeignet. Man läßt die Gase in einer bestimmten Reihenfolge, welche von ihrer Natur abhängig ist, absorbiren, wobei man indeß unter den schon früher bezeichneten Bedingungen auch noch die zu erfüllen hat, daß man die etwa durch das eine oder andere Absorptionsmittel gebildeten kleinen Dampfmengen oder Säuredämpfe durch geeignete Mittel sofort entfernt; so bildet sich z. B., wenn der Sauerstoff durch Phosphor absorbirt werden muß, eine kleine Menge phosphorige Säure; diese entfernt man durch Einführung einer kleinen Kalikugel. Bunsen hat nun für verschiedene Gase sinnreiche Mittel angewendet, mittelst deren sie vollständig absorbirt werden; Kohlensäure wird durch eine vorher angefeuchtete Kalikugel völlig hinweggenommen; Salzsäure durch möglichst wasserhaltiges krystallisirtes phosphorsaures Natron; ölbildendes Gas durch ein Gemenge gleicher Theile wasserfreier und gewöhnlicher rauchender Schwefelsäure, welches bei gewöhnlicher Temperatur fest ist; es wird durch eine damit gesättigte Kugel von Kohle, von der Masse, wie dieselbe zu den Bunsen'schen Elementen angewendet wird, in das Gasvolumen eingeführt und mehrere Stunden damit in Berührung gelassen. Die hierbei gebildete schweflige Säure und der Dampf von wasserfreier Schwefelsäure werden vor der Ablesung des neuen Volumens durch eine feuchte Braunsteinkugel entfernt.

Es ist nicht zweckmäßig, die Trennung der absorbirbaren Gase von den durch Verbrennung zu bestimmenden in demselben Instrumente vorzunehmen. Bunsen bringt daher das Gas, welches analysirt werden soll zunächst in ein kleineres Eudiometer von etwa 200 Millimeter Länge, in das feine Platindrähte eingeschmolzen sind. Sind die absorbirbaren Gase in diesem völlig abgeschieden und ist das Volumen eines jeden bestimmt, so wird das noch übrige Gasvolumen in das größere Eudiometer gebracht und dort analysirt.

Um die durch Absorption gefundenen Gasvolumina einander vergleichbar zu machen, reducirt man sie auf 0° und 1000 Millimeter Druck. Ist V das am Eudiometer abgelesene Volumen eines Gases, das nach der Capacität der Röhre mittelst der Tabelle berechnet ist, B der gleichzeitig beobachtete Barometerstand, d die Höhe der Quecksilbersäule im Eudiometer, welche dem atmosphärischen Druck entgegenwirkt, t^0 die Temperatur des Gases beim Ablesen, v endlich das Volumen bei 0° und 1000 Millimeter Druck, so findet man letzteres durch die Formel

$$v = \frac{V \times (D - d)}{1000 \times (1 + 0{,}003665\, t^0)}$$

Wenn das Gas mit Wasserdampf gesättigt ist, so hat man die der Temperatur entsprechende Spannkraft desselben T in Millimetern ausgedrückt in Rechnung zu bringen;

$$v = \frac{V \times (D - d - T)}{1000 \times (1 + 0{,}003665\, t^0)};$$

0,003665 bezeichnet den Ausdehnungscoefficient des Gases für 1° Wärmezunahme.

Es sind nun noch die durch Verbrennung bestimmbaren Gase, Kohlenoxydgas, Wasserstoffgas, Grubengas ꝛc. zu analysiren übrig. Ihr Gesammtvolumen wird im großen Eudiometer genau gemessen; hierauf leitet man reines Sauerstoffgas, das von atmosphärischer Luft ganz frei sein muß, unmittelbar in die Röhre, etwa zweimal so viel, als das Volumen der Gase beträgt. Das neue Volumen wird nach Verlauf von 1 bis 1½ Stunde abermals gemessen, Temperatur und Barometerstand bestimmt, und dann durch den elektrischen Funken entzündet. Die Explosion ist immer von einer bedeutenden Wärmeentwickelung begleitet, in Folge deren sich die Gase sehr stark ausdehnen. Durch diese gewaltsame Ausdehnung könnte leicht das Quecksilber aus der Röhre verdrängt werden und Gas entweichen; man verschließt deshalb die Röhre mit einer mit Quecksilberchloridlösung befeuchteten Kautschukplatte und läßt nach der Verbrennung erst Quecksilber aus der Wanne in die Röhre eintreten. Die Verbrennungsproducte sind, wenn Kohlenstoff enthaltende Gase vorhanden waren, Kohlensäure, bei Gegenwart von Wasserstoff, Wasser und Wasserdampf. Wenn der Apparat vollkommen erkaltet ist, bestimmt man die Höhe der Quecksilbersäule. Hierauf läßt man die gebildete Kohlensäure durch eine Kalikugel absorbiren; die durch abermalige Messung gefundene Verminderung des Gas-Volumens bezeichnet die Menge der Säure. Es ist jedoch der überschüssige Sauerstoff noch zu bestimmen; man mischt ihn mit Wasserstoff und verpufft das Gemenge durch den Funken; aus der Differenz zwischen der vorhergehenden und nachfolgenden Messung findet man sein Volumen. Ein etwa noch vorhandener Gasrückstand kann außer Wasserstoff nur Stickstoff sein, dessen Volumen, da man das des Wasserstoffs kennt, durch Subtraction gefunden wird. Subtrahirt man das Volumen des Stickstoffs von dem anfänglichen Volumen der brennbaren Gase, so erhält man die Menge derselben; die Quantität des zur Verbrennung nöthigen Sauerstoffs wird durch Subtraction zwischen dem bei der ersten Verpuffung unverbrannt gebliebenen Volumen und der gesammten hinzugelassenen Menge gefunden. Natürlich müssen auch hier die nöthigen Correctionen vorgenommen und die Volumina auf 0° und 1000 Millimeter Druck reducirt werden. Die gefundenen Volumina geben durch Rechnung leicht die procentische Zusammensetzung.

Aus dem hier mit größter Kürze dargestellten Bunsen'schen Verfahren bei einer eudiometrischen Analyse kann zur Genüge ersehen werden, welche große Genauigkeit mittelst desselben zu erreichen ist. Als Beweis hierfür mögen einige Analysen dienen, welche Bunsen mit 10 an verschiedenen Tagen gesammelten Luftproben vorgenommen hat.

Gehalt der Luft an Sauerstoff:

		I. Analyse.	II. Analyse.
Januar	9.	20,973 Proc.	20,958 Proc.
"	18.	20,928 "	20,901 "
"	20.	20,923 "	20,927 "
"	24.	20,921 "	20,943 "
"	26.	20,927 "	20,934 "
"	28.	20,928 "	20,911 "
"	30.	20,889 "	20,892 "
Februar	1.	20,840 "	20,871 "
"	3.	20,925 "	20,940 "
"	4.	20,937 "	20,952 *) "

Zu Analysen von atmosphärischer Luft bedient sich Bunsen eines noch größeren Eudiometers, als das früher beschriebene. Der Wasserstoff, welcher zur Verpuffung hier und überall, wo er zur Analyse erforderlich ist, gebraucht wird, wird durch Zersetzung des Wassers auf elektrolytischem Wege dargestellt.

Die Resultate der Bunsen'schen Analysen übertreffen alle, die von Andern erhalten worden sind, an Genauigkeit; die mit derselben Luft ausgeführten Analysen differiren höchstens nur $^3/_{100}$ Proc., während die von Gay-Lussac und Humboldt, mittelst des älteren Wasserstoff-Eudiometers noch um $^3/_{10}$ Proc. von einander abweichen.

Unter den Methoden, nach welchen der Sauerstoffgehalt der Luft durch Wägung bestimmt wird, sind die von Brunner, Dumas und Boussingault die wichtigsten. Brunner's Verfahren **) beruht auf der Eigenschaft des brennenden Phosphors, den Sauerstoff zu absorbiren. Ueber eine gewogene Menge Phosphor in einem etwa 1 Fuß langen Röhrchen, das hinter dem Phosphor mit etwas Asbest und Baumwolle gefüllt ist, wird mittelst eines mit demselben verbundenen und mit reinem Oel gefüllten Aspirators, atmosphärische Luft geleitet, während man den Phosphor gelind erwärmt. Der Phosphor oxydirt sich zu phosphoriger Säure, welche im Röhrchen zurückbleibt, der Stickstoff jedoch geht in den Aspirator, wofür ein gleiches Volumen Oel ausfließt; wird dieses gemessen, so findet man das Volumen Stickstoff, welches mit dem vom Phosphor absorbirten Gewicht Sauerstoff, das sich durch die Gewichtszunahme ergiebt, vermischt war. Die Resultate weichen im Einzelnen noch um $^2/_{10}$ Proc. von einander ab.

Dumas und Boussingault ***) leiteten von Kohlensäure und Wasserdampf befreite Luft über eine gewogene und erhitzte Menge metallischen Kupfers, welches den Sauerstoff absorbirt und Kupferoxyd bildet, das reine Stickgas aber in einen evacuirten und gewogenen Ballon. Wenn das Röhrchen mit dem Kupfer und der Ballon nach beendeter Operation abermals gewogen werden, so ergiebt die Gewichtszunahme die Menge des Stickstoffs und Sauerstoffs, welche mit einander zu Luft verbunden waren. Bei diesem, wie bei dem Brunner'schen

*) Handwörterbuch der Chemie. Bd. II. S. 1074.

**) Poggend. Ann. Bd. XXXI. S. 1.

***) Poggend. Ann. Bd. LIII. S. 39. Compt. rend. T. XII. p. 1005.

Bestimmungen sind natürlich die nöthigen Correctionen wegen Luftdruck und Temperatur berücksichtigt. Nach dieser Methode wurden von Dumas und Boussingault sehr genaue Resultate erhalten; die Zahlen für den Sauerstoffgehalt weichen nicht ganz um $^1/_{10}$ Proc. von einander ab; doch ist die Methode complicirt und nicht leicht ausführbar.

Liebig *) empfiehlt als ein sehr bequemes Mittel zu Luftanalysen, mit dem nicht absolut genaue, aber doch sehr gute Resultate erlangt werden können, eine alkoholische Lösung von Pyrogallussäure, welche den Sauerstoff vollständig absorbirt; ebenso anwendbar ist Gallussäure, weniger die Eichengerbsäure. Zweckmäßiger jedoch formt man aus einem Gemenge von Zucker und Pyrogallussäure Stücke und bringt diese an einem Drahte in das Eudiometer. H. Rt.

Evaporiren, s. Abdampfen.

Exosmose und **Endosmose**. — Wenn zwei ungleichartige aber mit einander mischbare Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand von einander getrennt sind, so mischen sie sich vermöge der Capillarwirkung des porösen Trennungsmittels nach bestimmten Gesetzen. Die capillaren Räume wirken also nicht, wie bei den gewöhnlichen Capillaritätsversuchen, einseitig auf eine Flüssigkeit, sondern üben von zwei Seiten eine und zwar dem Grade nach verschiedene Wirkung aus, welche ebensowohl von der Natur des porösen Körpers als auch der Flüssigkeiten abhängig ist. Die hierbei eintretenden Erscheinungen begreift man im Allgemeinen unter dem Namen Endosmose.

Die erste Beobachtung dieser Art von Diffusion ist von Parrot beschrieben **). Als er ein kleines Zucker-Glasgefäß, das mit Alkohol gefüllt und mit einer Blase verbunden war, in einen mit Wasser gefüllten Glashafen versenkte, zeigte sich nach 2 bis 3 Stunden die Blase beträchtlich aufgeschwollen; der Alkohol sprang, als ein Nadelstich in dieselbe gemacht wurde, 8 bis 10 Fuß in die Höhe. Wurde der Versuch umgekehrt angestellt, so daß Alkohol in den Glashafen und Wasser in das kleine Glasgefäß kam, so wölbte sich die Blase nach innen.

Später, im Jahre 1812 machte M. W. Fischer eine ähnliche Beobachtung ***), als er eine unten mit Blase verschlossene Röhre zum Theil mit Wasser gefüllt, in eine Kupfervitriollösung und in das Wasser einen Eisendraht stellte. Es drang Kupfervitriollösung in die Röhre und demzufolge wurde im Wasser durch das Eisen Kupfer reducirt, und nach einigen Wochen war auch dies Wasser um vier Zoll über das Niveau der äußeren Flüssigkeit gestiegen. Fischer suchte damals den Grund dieses Phänomens in einem gleichzeitigen Entstehen von mechanischer Cohärenz und chemischer Verwandtschaft.

Magnus berichtigte und erweiterte 1827 diese Beobachtung ****). Er zeigte, daß die Erscheinung eine Wirkung der Capillarität sei, daß, wenn eine Salzlösung durch thierische Blase von Wasser getrennt ist, von diesem immer mehr zu jener übergeht, als umgekehrt von der Auflösung zum Wasser, und daher nur bei

*) Ann. der Chem. u. Pharm. Bd. LXXVII. S. 107 — 114. Pharmaceut. Centralblatt. 1851. S. 360 — 362.

**) Grundriß der theoretischen Physik von Parrot (Dorpat u. Riga 1811).

***) Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 300.

****) Poggend. Ann. Bd. X. S. 160.

der Salzlösung ein Steigen des Niveau's stattfindet, daß der entgegengesetzte Erfolg, wie im Fischer'schen Versuche nur dann eintrete, wenn das das Kupfer fällende Eisen, (oder Zink, wenn man außerhalb eine Bleilösung anwendet) oder das dadurch gefällte Metall die Blase berührt, wo sich dann außerhalb der Blase die Fällung fortsetzt. Es entsteht in diesem Falle in der Röhre eine Auflösung des reducirenden Metalls, welche immer concentrirter wird, je mehr sich in der äußeren Lösung Metall niederschlägt, und da sich diese folglich immer mehr verdünnt, wenn alles Kupfer gefällt ist, so befinden sich in beiden Gefäßen gleiche Theile von der Eisenvitriol enthaltenden Auflösung dieses Salzes.

Die angeführten Erscheinungen lassen sich nach Magnus durch Capillarität erklären, wenn man annimmt, daß eine anziehende Kraft zwischen den Theilen der verschiedenen Flüssigkeiten stattfinde, und daß die verschiedenen Flüssigkeiten mit verschiedener Leichtigkeit durch dieselben capillaren Röhren hindurch fließen können, gerade so wie Wasser leichter durch eine capillare Oeffnung fließt, als Quecksilber. In einer Salzlösung werden aber die Theile der Flüssigkeit fester aneinanderhängen, als die Theile des Lösungsmittels z. B. des Wassers, und die anziehende Kraft muß mit der Concentration der Lösung zunehmen; die Lösung wird daher schwerer flüssig sein und schwerer durch sehr enge Oeffnungen hindurchgehen als Wasser, vorausgesetzt, daß die Wände der Oeffnungen sich ganz gleich verhalten. Je concentrirter also eine Auflösung ist, desto schwieriger wird sie durch dieselben Oeffnungen hindurch gehen.

„Versuchen wir nun," sagt Magnus, „mit Hülfe dieser Annahmen," (welche jedoch, wie Poiseulle gezeigt hat, nicht für alle Salzlösungen beweisbar sind) „die oben angeführten Erscheinungen zu erklären:"

„In die Poren der Blase wird sowohl die Salzlösung als auch das Wasser eindringen, und es wird sowohl die Salzlösung aus den Poren zum Wasser treten, wegen der Anziehung beider für einander, als auch das Wasser zur Salzlösung, bis ein völliger Austausch beider eingetreten ist. Da ferner die Kraft, die das Wasser zur Salzlösung zieht, ganz dieselbe ist, mit der, welche die Salzlösung zum Wasser zieht, so würde ebensoviel Wasser als Salzlösung durch die Blase gehen, und die Niveaux blieben ungeändert, wenn beide Flüssigkeiten gleich leicht durch die Poren dringen könnten. Da dies aber nicht der Fall ist, so ist auch verschiedene Kraft nothwendig, um beide Flüssigkeiten durch die Poren zu bringen, oder es werden bei gleicher Kraft ungleiche Mengen von beiden in derselben Zeit hindurch gehen; es wird daher von der, welche leichter hindurch gehen kann, nämlich vom Wasser, mehr zur Salzlösung treten, als von dieser zum Wasser; und folglich werden sich die Niveaux beider Flüssigkeiten verändern, wenn keine andere Kraft diese Wirkung hindert."

Aber auch diese Erklärung der Volumenänderung der Flüssigkeiten ist nicht ausreichend, sie läßt wie Liebig gezeigt hat *), noch Manches unerklärt, insbesondere weil sie die Substanz der Blase für wirkungslos hält.

Ohne diese Beobachtungen von Fischer und Magnus zu kennen, theilte Dutrochet 1826 der Pariser Akademie ähnliche mit, die er bald darauf nebst

*) Liebig, Poggendorf und Wöhler, Handwörterbuch der Chemie. Bd. II. S. 938.

vielen anderen in einem besonderen Werke niederlegte *). Dutrochet machte sie zuerst an lebenden Zellgeweben; er glaubte daher in diesen Erscheinungen ein neues Agens der vitalen Bewegung zu erkennen, das eine Wirkung nicht der Capillarität, sondern der Elektricität sei. Nach seiner damaligen Ansicht stellen sich in der Zelle, wenn Flüssigkeiten von verschiedener Dichte auf einander wirken, zwei Ströme ein von entgegengesetzter Richtung und ungleicher Kraft; in Folge dieses Vorgangs steige die Flüssigkeit, gegen welche der stärkere Strom gerichtet ist. Je nachdem nun der Strom zur Zelle hinein oder herausging, nannte er ihn Endosmose oder Exosmose (von ἔνδον und ἐξ und ὠσμός, Antrieb). Nachdem er später erkannt, daß nicht blos der lebende Organismus diese Erscheinungen zeigt, sondern daß sie auch porösen Scheidewänden von unorganischen Stoffen angehören, und daß in solchen porösen Körpern eine doppelte Strömung der Flüssigkeiten erfolgt, behielt er nur den ersteren Namen bei und bezeichnete damit den Ueberschuß des stärkern Stroms über den schwächern **). Die Ansicht, daß Elektricität die Ursache der Erscheinung sei, die er früher gegen Poisson ***) vertheidigt hatte ****), gab er auch auf und suchte nun einen directen Zusammenhang zwischen Endosmose und Capillarität nachzuweisen *****). Er sagt darüber: „Sobald die Flüssigkeiten mit einander mischbar sind und in Haarröhrchen ungleich hoch steigen, und sobald andererseits die Scheidewand die erforderliche capillare Porosität besitzt, tritt Endosmose ein, d. h. findet auf Seite der Flüssigkeit, die sich in Haarröhrchen weniger erheben würde, ein Steigen statt.“ Als Beweis für die Richtigkeit dieses Satzes führt er folgenden Versuch an. In eine Kochsalz- und eine Glaubersalzlösung, beide von 1,085 specif. Gewicht wurde nach einander ein Haarröhrchen eingetaucht, in welchem bei 10° R. Wasser 12 Linien hoch stieg. In diesem Röhrchen hob sich die Glaubersalzlösung 8 Linien, und die Kochsalzlösung 10 Linien. Der Ueberschuß der Steighöhe des Wassers über die Glaubersalzlösung war also = 4, und der über die Steighöhe der Kochsalzlösung = 2, das Verhältniß beider Unterschiede mithin = 2 : 1. Gerade in demselben Verhältniß nun, behauptet Dutrochet, standen die Endosmosen, wenn die genannten Flüssigkeiten einzeln in das Endosmometer (eine senkrechte, unten trichterförmig erweiterte und daselbst durch Blase verschlossene Röhre) gebracht und mit demselben in Wasser gestellt wurden †).

Aber nicht alle Versuche, die Dutrochet anstellte, stimmten mit diesem Satze, welcher schon an und für sich Bedenken erregen muß. Er fand, daß Olivenöl in einem gläsernen Haarröhrchen stärker steigt, als Lavendelöl, dennoch aber, wenn beide Oele durch eine poröse Scheidewand getrennt sind, der stärkere Strom vom letzteren zum Olivenöl gerichtet ist, so daß dieses im Niveau steigt. Brücke beobachtete Aehnliches am Olivenöl und Terpentinöl, von denen letzteres im Haarröhrchen das minder steigende war und dennoch das Olivenöl im Diffusionsapparate

*) L'agent immediat du mouvement vital. Paris 1826.
**) Poggend. Ann. Bd. XXVIII. S. 359.
***) Poggend. Ann. Bd. XI. S. 134.
****) Poggend. Ann. Bd. XI. S. 138 und Bd. XII. S. 617.
*****) Poggend. Ann. Bd. XXVIII. S. 359.
†) Jerichan erhielt bei Wiederholung des Versuchs das entgegengesetzte Resultat. Poggend. Ann. Bd. XXXIV. S. 620.

hob *). Manche andere Versuche von Dutrochet, namentlich die mit reinen Säuren und Alkalien, sprachen entschieden gegen seine Theorie; diese Körper sind aber ohnedem zu Untersuchungen über Endosmose nicht immer geeignet, weil dieselben bei einer gewissen Concentration die chemischen Eigenschaften der Blase mehr oder weniger verändern. Dutrochet wurde selbst von der Unrichtigkeit dieses Satzes überzeugt und suchte nun darzuthun, im Jahre 1835, daß die Diffusion außer von der Temperatur, hauptsächlich von der Verwandtschaft der Flüssigkeiten zur trennenden Scheidewand abhänge **).

Um dieselbe Zeit machte Jerichau eine Reihe von Versuchen bekannt ***), aus denen gleichfalls hervorgeht, daß die früher von Dutrochet ausgesprochene Ansicht keineswegs begründet ist.

Brücke wurde durch mehrere seiner Versuche zu der Meinung geführt, daß eine Anziehung zwischen den Lösungen als solchen unter sich nicht stattfinde, sondern nur zwischen dem Lösungsmittel und dem gelösten Körper. So kann einer Flüssigkeit von der in ihr gelösten Substanz durch eine andere Flüssigkeit, welche dieselbe ebenfalls aufzulösen vermag, aber mit der ersten nicht mischbar ist, ein Theil entzogen werden, so lange bis beide von den Mengen des Körpers, welche sie bei derselben Temperatur aufzulösen vermögen, gleiche Bruchtheile enthalten. Als Beweis hierzu diente ihm besonders folgender Versuch. Er übergoß Wasser mit Aether und schüttelte beide tüchtig durch einander. Es entstehen hierdurch zwei nicht mischbare Flüssigkeiten, von denen die obere, nach Berzelius 36 Gewichtstheile Aether und 1 Gewichtstheil Wasser, die untere aber 9 Th. Aether und 1 Th. Wasser enthält. Wurde die untere Flüssigkeit mit Quecksilberchlorid gesättigt, und darauf mit der oberen übergossen, so fand sich nach einigen Tagen, daß der untern eine erhebliche Menge Quecksilberchlorid durch die obere entzogen war. Derselbe Versuch in etwas veränderter Weise angestellt, ergab ein ähnliches Resultat, auch bei Anwendung von Kleesäure. Andere Versuche aber, mit Benutzung thierischer Blase, haben nicht die Beweiskraft, wenn sie übrigens auch seiner Ansicht scheinbar nicht ungünstig sind, da er auch zum Theil Substanzen anwendete, welche die chemische Natur der Blase verändern, wie essigsaures Blei und chromsaures Kali ****).

In allen den erwähnten Untersuchungen und Erklärungen ist auf die Natur der Blase wenig, oder wenigstens nicht die Rücksicht genommen, welche nothwendig ist, um über die Erscheinungen der Endosmose ins Klare zu kommen. Liebig hat auch zahlreiche Versuche über die Endosmose angestellt *****), und sie damit

*) Poggend. Ann. Bd. LVIII. S. 77.

**) Ann. de Chim. et de Phys. T. LX. p. 337.

***) Poggend. Ann. Bd. XXXIV. S. 613.

****) Liebig sagt Handwörterbuch der Chemie. Bd. II. S. 944: „Um in diesen Versuchen nicht zu irrigen Schlüssen geführt zu werden, muß man die Anwendung aller Flüssigkeiten vermeiden, welche die Haut in ihren chemischen Eigenschaften ändern; hierzu gehören namentlich Säuren von einer gewissen Concentration, salpetersaures Silber, Bleisalze, Goldchlorid, Chlorzinn, Chromsäure, saures harnsaures Kali, Gerbsäure rc. Ueberhaupt ändern sich die Eigenschaften der Häute schon im bloßen Wasser nach einigen Tagen, sie pflanzen alsdann den hydrostatischen Druck durch ihre Poren fort und müssen zu diesen Versuchen verworfen werden."

*****) Liebig, Poggendorf und Wöhler, Handwörterbuch der Chemie. Bd. II. S. 921.

begonnen, daß er das Verhalten thierischer Häute und Membranen gegen verschiedene Flüssigkeiten, Wasser, Alkohol, Salzlösungen ꝛc. genau untersuchte.

Aus diesen Untersuchungen geht zunächst hervor, daß Salzwasser, fettes Oel, Alkohol ꝛc., so wie das Wasser unter einem gewissen Drucke durch thierische Membran fließen, in ganz gleicher Weise, wie Wasser durch ein Filter von Papier. Die Größe des Druckes aber hängt ab von der Dicke der Membran und der chemischen Beschaffenheit der verschiedenen Flüssigkeiten; sie wird daher bei derselben Membran für verschiedene Flüssigkeiten nicht gleich sein. Bei demselben Drucke, bei welchem Salzwasser, Wasser und Oel durch die Blase gehen, fließt der leichter bewegliche Alkohol noch nicht durch. Einen bestimmten Antheil an dem Durchgangsvermögen einer Flüssigkeit durch thierische Blase hat die Benetzbarkeit der letzteren und ihre Absorptionsfähigkeit für diese Flüssigkeiten. Liebig fand z. B., daß 100 Gewichtstheile trockner Ochsenblase in 24 Stunden aufnahmen:

reines Wasser.	268	Th.
mit Kochsalz gesättigtes Wasser von 1,204 spec. Gew.	133	„
Weingeist von 84 Proc.	38	„
Knochenöl	17	„

Das Absorptionsvermögen der Membranen für verschiedene Flüssigkeiten ist also sehr ungleich; in größter Menge wird reines Wasser aufgenommen, für Salzlösungen vermindert sich das Absorptionsvermögen in einem gewissen Verhältnisse wie der Salzgehalt zunimmt, ähnlich für Alkohol und für Mischungen von Alkohol und Wasser. Durch Wasser erhalten also die Membranen Eigenschaften, welche weder Alkohol noch Oel bewirken können. Es leuchtet ein, daß wenn eine mit Wasser gesättigte Blase, z. B. mit Kochsalz bestreut wird, Wasser austreten muß, ebenso, wenn sie in Alkohol getaucht wird; diese Substanzen mischen sich mit dem Wasser der Blase, und erzeugen somit Flüssigkeiten, für welche die Blase ein viel geringeres Absorptionsvermögen besitzt. Beim Alkohol insbesondere, von dem ein viel geringeres Volumen eintritt, als Wasser austritt, wird eine bedeutende Zusammenschrumpfung der Blase die nächste Folge sein. Aehnlich verhalten sich Fibrin und andere Thiersubstanzen (nach Versuchen von Chevreul und Liebig). Ihre Zusammenschrumpfung (Volumenabnahme) ist also nicht blos die Folge einer einfachen Wasseranziehung durch Alkohol oder Salz.

Das Wasser verliert durch die Anziehung der porösen Thiersubstanz seine Fähigkeit nicht, sich mit andern Flüssigkeiten zu mischen; dasselbe gilt für jede Flüssigkeit, welche die Blase aufgesaugt hat. Benetzt man die eine Seite einer dünnen Membran mit Blutlaugensalz und die entgegegesetzte mit Eisenchloridlösung, so sieht man in der Substanz der Blase augenblicklich einen blauen Fleck von abgeschiedenem Berlinerblau entstehen.

Auf ganz analoge Weise verhalten sich Flüssigkeiten, welche beim Zusammenmischen eine Veränderung in ihrer Natur oder ihrer Beschaffenheit erleiden, sie mischen sich in den Poren der Haut; in der Substanz der Haut nimmt die Zersetzung ihren Anfang.

Wenn eine mit Blase verbundene Glasröhre mit reinem Wasser oder Salzwasser gefüllt in Salzwasser oder reines Wasser getaucht wird, so tritt Salz zum Wasser und Wasser zur Salzlösung so lange bis beide Flüssigkeiten gleiche Mengen Salz und Wasser enthalten. In dieser Weise verhalten sich Salzlösungen aller

Art, Galle, Milch, Blutserum, Zucker-, Gummilösung ꝛc. auf der einen Seite und reines Wasser auf der andern, ebenso Alkohol und Wasser. Die diese Mischung begleitende Erscheinung, Volumenzunahme der einen, und Volumenabnahme der andern Flüssigkeit tritt in der Weise auf, wenigstens in den meisten Fällen, daß die concentrirtere an Volumen zunimmt; nur in einigen zeigt sich das Gegentheil, wie z. B. bei Alkohol und Wasser, wo letztere, die dichtere Flüssigkeit, an Volumen abnimmt. In allen Fällen ist die Volumenzunahme der einen Flüssigkeit gleich der Volumenzunahme der andern, abgerechnet die Verdichtung und Volumenabnahme, welche die Flüssigkeiten beim bloßen Vermischen oder durch die Verdunstung erleiden. Die Dichtigkeit der Lösungen, die Concentration hat einen bestimmten Einfluß auf die Schnelligkeit der Volumenänderung und Mischung beider Flüssigkeiten; dieselbe ist aber auch mit Beziehung auf die Porosität der Blase abhängig von der Oberfläche der Flüssigkeit (Größe der Membran).

Der Einfluß des specifischen Gewichts läßt sich auf verschiedene Weise nachweisen. Unter andern hat Liebig folgenden Versuch angestellt. Eine etwa 1 Centimeter weite Röhre wurde mit Blase verbunden und mit Salzwasser gefüllt in ein Gefäß mit reinem Wasser eingetaucht und der Röhre eine etwa um 45° geneigte Stellung gegeben. Man beobachtete (besonders deutlich, wenn beide Flüssigkeiten aufgeschlemmte feine Indigotheilchen enthalten) in den Lösungen eine beständige Bewegung, in der Röhre erhob sich von der Blase aus aufwärts steigend ein Strom, welcher auf der andern Seite der Röhre herabging; eine ähnliche rotirende Bewegung zeigte sich in dem Gefäß mit Wasser. Ist die mit Salzwasser gefüllte Röhre etwa 2 Centimeter weit und stellt man sie senkrecht in das Gefäß mit Wasser, so geht die Bewegung von der Mitte aus, in beiden Versuchen beobachtet man einander entgegengesetzte Strömungen. Diese Strömungen lassen sich eben durch die verschiedene Dichte der Flüssigkeiten erklären; und unmittelbar unter der Blase entsteht im Wasser, durch Aufnahme von Salztheilchen aus der Röhre eine schwerere Schicht, welche sich nach unten bewegt, während die leichteren unteren Schichten emporsteigen; in der Röhre ist es umgekehrt. So lange die Bewegung deutlich wahrgenommen wird, findet auch noch Volumenzunahme des Salzwassers und Volumenabnahme des reinen Wassers statt; hört sie auf, so ist auch keine Volumenänderung mehr bemerkbar und man findet dann, daß die beiden Flüssigkeiten sich im spec. Gewicht, oder im Salzgehalt kaum noch unterscheiden. Die Volumenänderung hängt also, wie aus diesen Versuchen hervorgeht, von einem Unterschiede in der Beschaffenheit der beiden durch die Blase verbundenen Flüssigkeiten ab und die Dauer der Volumenänderung steht mit der Dauer dieser Differenz in geradem Verhältniß. Je größer die Verschiedenheit in der Zusammensetzung beider Flüssigkeiten ist und je rascher sich durch den Wechsel der die Blase berührenden Flüssigkeitsschichten die Differenz erneuert, um so schneller findet die Volumenänderung statt.

Zur Erklärung der endosmotischen Erscheinungen ist die Mischung der Flüssigkeiten, so wie die Volumenänderung genauer ins Auge zu fassen. Die Mischung zweier ungleichartiger Flüssigkeiten ist stets abhängig von einer chemischen Anziehung, ohne welche keine gleichförmige Mischung denkbar ist; die Ursache dieser Anziehung ist aber die chemische Kraft oder Verwandtschaft, die, eine ganz allgemeine Eigenschaft der Materie, überall sich äußert, wo ungleichartige

Körper mit einander in Berührung kommen. Zwei Flüssigkeiten, von ungleicher chemischer Beschaffenheit, die mit einander mischbar sind, also eine chemische Anziehung zu einander haben, mischen sich in allen Punkten, wo sie sich berühren; wenn die Zahl der Berührungspunkte vermehrt wird (durch Umschüttelung ꝛc.), so wird auch die gleichförmige Mischung um so schneller erfolgen. Von den Berührungspunkten aus schreitet die Mischung in Folge der chemischen Anziehung der übrigen Flüssigkeiten weiter fort, die salzhaltigen Schichten ziehen Wasser an, die salzfreien Salz und so vertheilen sich allmälig Salz und Wasser gleichförmig durch die ganze Masse. Die Salztheilchen bewegen sich nach oben, wenn man Wasser über die Salzlösung bringt, oder wenn man will, die Wassertheilchen, welche noch Salz aufzulösen vermögen, nach unten. Von dem Grade der chemischen Anziehung ist die Schnelligkeit der Mischung abhängig, und es hat hierauf die ungleiche Beweglichkeit der Theilchen der einen oder andern Flüssigkeit einen fördernden oder hindernden Einfluß, je nachdem die specifisch schwerere oder zähere Flüssigkeit über oder unter der leichteren oder leichter beweglichen sich befindet.

Sind nun zwei ungleichartige, aber mit einander mischbare Flüssigkeiten durch Häute oder Membranen getrennt, so füllen sich deren Poren mit jeder der beiden Flüssigkeiten; an allen Punkten, wo beide Flüssigkeiten in der Haut sich berühren, findet eine Mischung statt, die sich nach beiden Seiten hin fortsetzt. An dieser Mischung hat die Substanz der Blase keinen andern Antheil, als daß sie dieselbe verlangsamt, und, da durch ihre Poren der hydrostatische Druck nicht fortgepflanzt wird, erlaubt eine schwerere Flussigkeit oberhalb einer leichtern zu bringen und an diesem Orte zu erhalten, mithin ein Mittel abgiebt, die Wirkung des spec. Gew. auf die Mischung eintreten zu lassen.

Zu Erklärung der Volumenänderung zweier Flüssigkeiten, die sich durch die Blase mischen, ist zunächst zu erwägen, daß die Benetzung, das Aufsaugungsvermögen eines festen, oder das Befeuchtungsvermögen eines flüssigen Körpers die Wirkung einer chemischen Anziehung ist. Die festen Körper besitzen aber eine ungleiche Anziehung zu Flüssigkeiten von ungleicher Natur oder ungleicher chemischer Beschaffenheit; eine Aenderung der Natur der Flüssigkeit, welche ein System von Capillarröhren bis zu einer gewissen Höhe anfüllt, zieht auch eine Aenderung im Stande der Flüssigkeit nach sich. In mit Wasser erfüllten Thiersubstanzen ist das Wasser durch die gegenseitige Anziehung und durch die Capillarität am Ausfließen gehindert, wenn aber die Anziehung der Gefäßwände zum Wasser durch Aufnahme von Salz oder Vermischung mit Alkohol vermindert wird, so fließt ein Theil des Wassers aus, von dem nur so viel zurückgehalten wird, als seiner Anziehung zur Blase und zum Salz oder Alkohol entspricht. Wie schon früher erwähnt, schrumpfen aus diesem Grunde die Thiersubstanzen zusammen. Aus Sömmering's Versuchen weiß man, daß Weingeist von einer gewissen Stärke in eine Blase eingeschlossen und der Luftverdunstung ausgesetzt, nur Wasser verliert, und daß zuletzt wasserfreier oder fast wasserfreier Weingeist in der Blase zurückbleibt. Bei Anwendung von starkem Weingeist bleibt die Blase außen trocken, bei sehr wasserhaltigem fühlt sie sich feucht an und es verdunstet mit dem Wasser auch Alkohol. Das Wasser der Mischung wird aufgesaugt, und es verdunstet an der Außenseite der Blase, der Alkohol bleibt in der Blase zurück. Welchen Einfluß die Natur der Blase oder ihre Anziehung zu den sie berührenden

Flüssigkeiten auf die Volumenänderung hat, zeigt sich durch Vergleichung der Wirkung einer thierischen Membran mit einer dünnen Kautschukhaut. In einer mit Blase verschlossenen Röhre nimmt der Alkohol, wenn er mit Wasser in Berührung ist, an Volumen zu, in einer mit Kautschuk verbundenen Röhre nimmt er ab. Die mächtige Anziehung der Blase zu Wasser geht aber auch aus dem folgenden Versuche Liebig's hervor. Wenn eine mit Salzwasser gefüllte Röhre in ein Gefäß mit Wasser gestellt wird, so zwar, daß die Blase und das Wasser nur durch einen Tropfen mit einander in Verbindung stehen, so vergrößert sich das Volumen des Salzwassers, es steigt in der Röhre in die Höhe, wie wenn die Blase in das Wasser eingetaucht wäre, aber der Tropfen wird immer kleiner, bis nach ein oder zwei Stunden eine völlige Trennung erfolgt, der Tropfen reißt sich von dem Wasser los.

In Folge dieser stärkeren Anziehung der Blase zum Wasser und zu sehr wasserhaltigen Salzlösungen im Vergleich zu wasserarmen Lösungen, wird, wenn beide dieser Flüssigkeiten in der Blase sich mischen, eine Verdrängung sowohl von Wasser, als von Salzlösung stattfinden müssen; ein Theil der Mischung tritt aus den Poren aus, die salzärmere nimmt den Ort der salzreichen ein, von der letzteren geht ein Theil fort und mit demselben eine gewisse Menge von dem Wasser, welches der äußersten Schicht durch die Mischung zugeführt ist *). Wenn nun die ausgeschlossenen Mengen durch neu hinzutretende Flüssigkeitsschichten, auf der einen Seite durch concentrirtere, auf der andern durch verdünntere, hinweggenommen werden, was auch zufolge des ungleichen specifischen Gewichts der Fall ist, so wird dieser Vorgang so oft sich wiederholen, bis die beiden Flüssigkeiten in ihrer chemischen Beschaffenheit einander gleich sind; dabei wird fortwährend Volumenänderung stattfinden müssen, weil ja von dem Wasser oder der wasserreichen Lösung größere Mengen aufgesogen werden. „Die Wirkung," sagt Liebig, „welche verschiedenartige Flüssigkeiten auf die Substanz der thierischen Gewebe ausüben, in Folge welcher die Mischung mit einer Volumenänderung begleitet ist, erscheint einem mechanischen Drucke gleich, der von der einen Seite her stärker ist, als von der andern. Füllt man eine an dem einen Ende umgebogene und erweiterte Röhre, welche an ihrer weiten Oeffnung mit Blase verschlossen ist, zum Theil mit Salzwasser an und gießt alsdann in die enge Röhre so viel Quecksilber ein, bis durch den Druck derselben, Salzwasser durch die Poren der Blase in feinen Tropfen auszutreten beginnt, nimmt alsdann von der Quecksilbersäule so viel ab, daß das Austreten nicht weiter wahrnehmbar ist und stellt jetzt die Vorrichtung in ein Gefäß mit reinem, durch Indigotinctur gefärbten Wasser, so ändert sich der Stand des Quecksilbers nicht; beim vorsichtigem Herausnehmen der Röhre aus der blauen Flüssigkeit, nach etwa 1 oder 2 Stunden, sieht man, daß sich in dem oberen Theile der weiten Röhre, welche das farblose Wasser enthielt, eine dunkelblaue Schicht gebildet hat, die auf einer farblosen schwimmt. Nach längerer Zeit sieht man die blaue Farbe von oben nach unten sich immer mehr verbreiten, bis zuletzt das Salzwasser eine gleichförmige blaue Farbe angenommen hat. Wie hieraus leicht

*) Liebig wurde durch Versuche, in denen er die Wage anwendete, zu der begründeten Ansicht veranlaßt, daß sich nicht blos Salztheile zum Wasser und Wassertheile zur Salzlösung bewegen, eine Ansicht, die die früheren und späteren Forscher, welche die Endosmose studirten, nicht theilen. (Handwörterbuch der Chemie. Bd. II. S. 939).

ersichtlich, mischen sich diese beiden Flüssigkeiten, wie wenn auf das Salzwasser kein Druck gewirkt hätte, denn ein mechanischer Druck übt keinen Einfluß auf die Mischung aus, aber in Folge des Druckes auf die Blase mischen sie sich jetzt ohne Volumenänderung. Der mechanische Druck, welchen das Wasser in Folge seiner größern Verwandtschaft zur Blase auf das Salzwasser in den Poren der Blase ausübt, wird durch die Quecksilbersäule im Gleichgewicht gehalten, oder was ganz dasselbe ist, es tritt ebenso viel Salzwasser aus, als wie Wasser ein. Denken wir uns die Quecksilbersäule hinweggenommen, so erklärt sich das Steigen des Salzwassers in der engen Röhre ohne weitere Auseinandersetzung. Ueberbindet man ein kurzes mit Salzwasser oder Alkohol gefülltes Röhrenstück an beiden Enden mit Blase (eine Vorrichtung, die eine Zelle repräsentiren soll) und hängt dieselbe in ein Gefäß mit reinem Wasser, so nehmen die beiden Blasenoberflächen eine convexe Form an, sie schwellen an, aber ohne zu bersten. Wenn der durch Aufnahme von Wasser im Innern steigende Druck die Verwandtschaft des Wassers zur Blase, und damit das weitere Eindringen desselben im Gleichgewichte hält, so erfolgt jetzt der Austausch ohne weitere Volumenänderung."

Die beschriebenen Erscheinungen zeigen sich an den meisten porösen Körpern, wenn sie durch ihre Poren einen schwachen hydrostatischen Druck nicht fortpflanzen, so an Thonzellen *), an der innern Haut von Erbsen und Bohnenschoten, feinem Bast, der Oberhaut von Weinbeeren, Kartoffelknollen, Aepfeln, der innern Haut der Samenkapsel des Blasenstrauchs ꝛc.; die thierischen Gewebe übertreffen indeß alle andern an Wirksamkeit; ihr ungleiches Absorptionsvermögen für ungleichartige Flüssigkeiten verstärkt die Wirkung auf die Volumenänderung während der Mischung.

Dieses ungleiche Absorptionsvermögen bedingt aber einen ungleichen Zustand des Zusammengezogenseins (Contraction) der beiden Flächen der Membran; so lange nun eine Differenz in der Natur oder Beschaffenheit der beiden die Blase berührenden Flüssigkeiten stattfindet, so lange werden die kleinsten Theilchen der Blase sich in einem auf einander folgenden Zustande der Zusammenziehung und Anschwellung oder Ausdehnung, d. h. in einer beständigen Bewegung befinden.

„Die Volumenänderung zweier mit einander mischbaren Flüssigkeiten, welche durch Membranen von einander getrennt sind, ist also bedingt von der ungleichen Anziehung, welche die Membran zu diesen Flüssigkeiten besitzt. Das ungleiche Aufsaugungsvermögen der thierischen Membranen für diese Flüssigkeiten ist eine Folge ihrer ungleichen Anziehung, es ist abhängig von der verschiedenen Natur der Flüssigkeiten, oder der in den Flüssigkeiten gelösten Substanzen; ein ungleicher Gehalt an gelösten Stoffen (eine ungleiche Concentration) wirkt in vielen Fällen, wie wenn die Flüssigkeiten zwei verschiedenartige Substanzen enthielten."

Aus diesem Verhalten der Membranen und Häute läßt sich schließen, daß sie auf die Bewegung der Säfte im thierischen Organismus den größten Einfluß ausüben, ja daß ihnen vielleicht neben ihren physikalischen gewisse chemische Eigenschaften zukommen, durch welche sie Zersetzungen und Verbindungen, wahre Scheidungen zu bewirken vermögen.

---

*) Liebig hat durch Versuche nachgewiesen, daß auch poröser Thon vom Salzwasser und Wasser ungleiche Volumina in seinen Poren aufnimmt.

Vierordt *) hat die Erscheinungen der Endosmose insbesondere in der Absicht untersucht, um manche physiologische Erscheinungen im Organismus zu erklären. Zu seinen Versuchen diente ein von ihm construirtes Endosmometer, das die Volumenzunahme der einen und Volumenabnahme der andern Flüssigkeit sehr genau anzeigte und insbesondere eine Vorrichtung besitzt, mittelst welcher die Anschwellung der Blase gemessen und für die Volumina der Flüssigkeiten mit in Rechnung gezogen werden kann. In einigen Versuchen mit Zuckerlösung, welche den Zweck hatten, den Einfluß der Concentration der Lösungen auf die Endosmose zu ermitteln, erhielt Vierordt folgende Resultate.

Spec. Gewicht der Zuckerlösung	Zuckermenge in Grammen in 100 Cubikc. d. Zuckerlösung	Volumenabnahme des destillirten	Volumenzunahme des Zuckerw.	Zum destillirten Wasser übergegangene Zuckermenge
zu Anfang des Versuchs		in Cubikcentimetern		
103,64	6,225	— 1,37	+ 1,57	0,511
104,77	9,080	— 2,21	+ 2,15	0,870
105,64	11,286	— 1,96	+ 2,33	0,625
106,41	13,169	— 2,39	+ 2,61	0,639
108,21	16,616	— 3,28	+ 3,62	0,847
110,48	23,311	— 4,28	+ 4,72	1,282
111,68	26,343	— 4,47	+ 4,84	1,182
113,24	30,303	— 6,37	+ 7,00	1,104
115,61	36,264	— 5,61	+ 6,04	1,056
116,69	39,211	— 7,21	+ 7,82	1,174

Die Volumenabnahme des Wassers oder die Volumenzunahme der Lösung verhält sich nach diesen Versuchen bei Lösungen desselben Körpers proportional der Menge des gelösten Körpers, die in einem bestimmten Volumen der Lösung enthalten ist, so daß bei doppelter, dreifacher &c. Zuckermenge auch ein zwei oder dreimal so starke Volumenänderung der Flüssigkeit bemerkt wird.

Ph. Jolly **), welcher bei seinen Versuchen mit Blase verbundene, etwa 15 Centim. lange Röhren von 2 bis 3 Centim. Durchmesser, mit Salz oder Salzlösung gefüllt anwendete, bestimmte alle nach verschiedenen Zeiten eingetretenen Veränderungen durch Abwägen der Röhre, also durch Gewicht, nicht nach dem Volumen. Das Wasser, in welches die Röhre eingetaucht war, wurde häufig erneuert und der Versuch so lange fortgesetzt, bis nur destillirtes Wasser in der Röhre sich befand. Durch eine große Reihe von Versuchen, die später auch mit Aufzeichnung der Temperatur vorgenommen wurden, gelangte Jolly zu dem Resultat, daß für eine durch die Blase gegangene Menge irgend eines Stoffes immer ein von dessen Natur abhängiges bestimmtes Multiplum von Wasser wieder ein-

*) Poggend. Ann. Bd. LXXIII. S. 519.
**) Poggend. Ann. Bd. LXXVIII. S. 261.

trete. Dieses Multiplum nennt er das endosmotische Aequivalent der Substanz. Er bestimmte dieses Aequivalent von verschiedenen Körpern und fand es z. B. für Kochsalz 4,316, Glaubersalz 12,44, schwefelsaure Magnesia 11,504, Schwefelsäurehydrat 0,391, Kalihydrat 200,9, Alkohol 4,140, Zucker 7,250 ꝛc. Diese Aequivalente sind aber wie Ludwig's *) Untersuchungen deutlich beweisen, keine constanten, sondern variable Größen, abhängig von dem Concentrationsgrade der Flüssigkeiten. Für schwefelsaures Natron (Glaubersalz) fand er das Aequivalent von 4,3 — 31,9, für Kochsalz von 1,4 — 7,0, wobei eben Lösungen von sehr verschiedener Concentration angewendet wurden. Jolly nimmt weiter an, daß die Menge der durch eine Membran in einer bestimmten Zeit übertretenden Stoffe wesentlich abhänge: 1) von der Größe der wirkenden Membranstücke, 2) von der Dichtigkeit der Lösung, 3) von der Anziehung der Membran gegen die getrennten Stoffe und 4) von der Anziehung der getrennten Stoffe gegen einander. Dieselbe ist, wie er es für das Wahrscheinlichste hält, den beiden ersten Elementen geradezu proportional. — In der Erklärung der Ursache der endosmotischen Erscheinungen schließt sich Ludwig an die von Brücke aufgestellte Hypothese an, nach welcher in einem Capillarraum sich zwei getrennte Schichten befinden, von denen die eine Wasser, die andere Wasser und Salz enthält; das endosmotische Aequivalent ist daher abhängig, nach der Ansicht Ludwig's von dem Verhältniß der Salzwasser- und Wasserflächen zu einander, die sich auf den Oberflächen der Membran befinden. „Denn es kann die Differenz der Volumina nur durch die Wandungsschicht, welche Wasser, aber kein Salz durchdringen läßt, bedingt sein. Es wird die Verhältnißzahl der Flächen nur dann die wahre des endosmotischen Aequivalents sein, wenn in den verschiedenen Flächen dieselbe Beweglichkeit der Theilchen besteht." Die Resultate mehrerer zur Prüfung dieser Hypothese unternommenen Versuche dürften indeß kaum die Beweiskraft besitzen, welche Ludwig ihnen zuschreibt. Die Ansicht Brücke's, daß nur Salz zum Wasser, und Wasser zur Salzlösung trete, hat auch L. nicht bestätigt gefunden. H. Rt.

Expansibilität (v. d. lat. expandere, ausbreiten) oder Ausbreitbarkeit ist ein eigener Name für die bei den ausdehnsam flüssigen Körpern, den Dämpfen und Gasen, nur in Einer Form, als Druckelasticität, auftretende Elasticität, oder für das diesen Körpern eigenthümliche Bestreben sich auszubreiten (vergl. Bd. I. Ausdehnung S. 573), d. h. ihr Volumen dem jedesmaligen Grade ihrer Dichtigkeit und der jedesmaligen Temperatur entsprechend nach allen Richtungen hin zu vergrößern. Es ist mithin die Expansibilität, in sofern sie den ausdehnsam flüssigen Körpern allein zukommt, nur ein besonderer Fall der Extensibilität (v. d. lat. extendere, ausdehnen) oder Ausdehnbarkeit, worunter man die Fähigkeit der Körper jedes Aggregationszustandes versteht, ihr Volumen nach allen Richtungen hin zu ändern, womit wiederum die Dehnbarkeit oder Ductilität (von d. lat. ducere, ziehen, dehnen) nicht zu verwechseln ist, die sich (vergl. Bd. II. Dehnbarkeit S. 453) ihrer Seits nur auf feste Körper bezieht. H. E.

Expansion (v. d. lat. expandere, ausbreiten) oder Ausbreitung ist die der Expansibilität (vergl. diesen Artikel) gemäße Größe der Ausbreitung ausdehn-

*) Poggend. Ann. Bd. LXXVIII. S. 307.

sam flüssiger Körper. Es ist dieselbe abhängig von der jedesmaligen Temperatur und dem Drucke, unter welchem der Körper steht, worüber die näheren Bestimmungen in Betreff der atmosphärischen Luft und mehrerer anderer Gase sich in dem Artikel Ausdehnung Bd. I. S. 615 — 623 finden. In Beziehung auf die Dämpfe verweisen wir auf den Artikel „Dampf" und zwar über das Verhältniß zwischen Dämpfen und Gasen auf Bd. II. S. 50; über die Expansion des gesättigten Wasserdampfes auf S. 85; über die zur Bestimmung der Stärke der Expansion der Wasserdämpfe eingeschlagenen Wege auf S. 86 — 141; in Betreff des Weingeistes auf S. 141 — 144; des Quecksilberdampfes auf S. 145 und 146; des Schwefelätherdampfes auf S. 147 — 149; des Schwefelkohlenstoffdampfes auf S. 149 — 151; des Kohlenwasserstoffgases auf S. 151; des Dampfes von Steinöl und des Terpentinöldampfes auf S. 152 und über die Verhältnisse, welche stattfinden, wenn zwei oder mehrere ausdehnsam flüssige Körper (Dämpfe und Gase) in ein und demselben Raume eingeschlossen sind, auf S. 153 — 155.

Da es in der Praxis häufig vorkommt, die Größe eines Gas-Volumens v_t unter dem Drucke p und bei der Temperatur t zu bestimmen, wenn das Volumen V_T unter dem Drucke P und bei der Temperatur T gegeben ist, so möge die Auflösung dieser Aufgabe hier folgen.

Nehmen wir an, daß bei der Temperatur T, aber unter dem Drucke p das Volumen V_x sei, so ist wegen des gleichen Druckes, unter welchem v_t und V_x stehen:

$$v_t : V_x = (1 + 0{,}00365\ t) : (1 + 0{,}00365\ T)$$

und wegen der gleichen Temperatur bei V_x und V_T:

$$V_x : V_T = P : p,$$

folglich ist: $v_t : V_T = P\ (1 + 0{,}00365\ t) : p\ (1 + 0{,}00365\ T)$ und daher:

$$v_t = \frac{V_T\ P}{p} \cdot \frac{1 + 0{,}00365\ t}{1 + 0{,}00365\ T},$$

woraus mit Vernachlässigung der höheren Potenzen von 0,00365 sich das Resultat ergiebt:

$$v_t = \frac{V_T\ P}{p} [1 + 0{,}00365\ (t - T)]\ ^{*}).$$

Soll ein Gas-Volumen von 0° C. auf die höhere Temperatur + t erwärmt werden, so erhält man:

$$v_{+t} = \frac{V_0\ P}{p} (1 + 0{,}00365\ t);$$

ist ein Gas-Volumen von der höheren Temperatur + t auf die Temperatur 0° C. zu reduciren, so:

$$V_0 = \frac{v_{+t} \cdot p}{P\ (1 + 0{,}00365\ t)}$$

und soll dies für eine Temperatur unter 0° C. = — t geschehen, so

$$V_0 = \frac{v_{-t} \cdot p}{P} \cdot (1 + 0{,}00365\ t).$$

---

*) Vergl. Physikalische Aufgaben nebst ihren Auflösungen von Emsmann. Leipzig 1852. S. 76. Aufg. 25.

Wegen der leichteren logarithmischen Berechnung folgen schließlich die Logarithmen für 1 + 0,00365 t, wo t die Temperaturdifferenz bedeutet. Die Tabelle ist an sich klar.

Bei Reaumür'schen Graden hat man statt 0,00365 zu setzen 0,0045625; bei Fahrenheit'schen 0,002027778, wo im letzteren Falle aber die Grade von + 32 an zu nehmen sind. Zweckmäßiger erscheint es indessen die Grade in Celsius'sche zu verwandeln und sich der hier angegebenen Tabelle zu bedienen.

Tabelle zur Berechnung der Gas-Volumina.

Ausdehnungscoefficient 0,00365 = α.

Temperaturunterschied t^0 C.	Log. $(1 + \alpha t)$	Differenz	Temperaturunterschied t^0 C.	Log. $(1 + \alpha t)$	Differenz
0	0,00000	158	31	0,04655	143
1	0,00158	158	32	0,04798	141
2	0,00316	157	33	0,04939	141
3	0,00473	156	34	0,05080	142
4	0,00629	156	35	0,05222	140
5	0,00785	156	36	0,05362	140
6	0,00941	155	37	0,05502	139
7	0,01096	154	38	0,05641	139
8	0,01250	154	39	0,05780	138
9	0,01404	153	40	0,05918	138
10	0,01557	153	41	0,06056	138
11	0,01710	152	42	0,06194	137
12	0,01862	151	43	0,06331	137
13	0,02013	151	44	0,06468	137
14	0,02164	151	45	0,06605	136
15	0,02315	150	46	0,06741	135
16	0,02465	150	47	0,06876	135
17	0,02615	149	48	0,07011	135
18	0,02764	148	49	0,07146	134
19	0,02912	148	50	0,07280	134
20	0,03060	147	51	0,07414	133
21	0,03207	147	52	0,07547	133
22	0,03354	147	53	0,07680	133
23	0,03501	146	54	0,07813	132
24	0,03647	145	55	0,07945	132
25	0,03792	145	56	0,08077	132
26	0,03937	145	57	0,08209	131
27	0,04082	144	58	0,08340	130
28	0,04226	144	59	0,08470	130
29	0,04370	143	60	0,08600	130
30	0,04513	142	61	0,08730	130

Temperatur-unterschied t⁰ C.	Log. (1 + α t)	Differenz	Temperatur-unterschied t⁰ C.	Log. (1 + α t)	Differenz
62	0,08860	129	105	0,14090	115
63	0,08989	128	106	0,14205	114
64	0,09117	129	107	0,14319	114
65	0,09246	128	108	0,14433	113
66	0,09374	127	109	0,14546	113
67	0,09501	127	110	0,14659	113
68	0,09628	127	111	0,14772	113
69	0,09755	127	112	0,14885	112
70	0,09882	126	113	0,14997	112
71	0,10008	125	114	0,15109	112
72	0,10133	126	115	0,15221	112
73	0,10259	125	116	0,15333	111
74	0,10384	124	117	0,15444	111
75	0,10508	125	118	0,15555	111
76	0,10633	124	119	0,15666	110
77	0,10757	123	120	0,15776	110
78	0,10880	123	121	0,15886	110
79	0,11003	123	122	0,15996	109
80	0,11126	123	123	0,16105	110
81	0,11249	122	124	0,16215	109
82	0,11371	122	125	0,16324	108
83	0,11493	121	126	0,16432	109
84	0,11614	121	127	0,16541	108
85	0,11735	121	128	0,16649	108
86	0,11856	121	129	0,16757	107
87	0,11977	120	130	0,16864	108
88	0,12097	120	131	0,16972	107
89	0,12217	119	132	0,17079	107
90	0,12336	119	133	0,17186	106
91	0,12455	119	134	0,17292	107
92	0,12574	119	135	0,17399	106
93	0,12693	118	136	0,17505	106
94	0,12811	118	137	0,17611	105
95	0,12929	117	138	0,17716	105
96	0,13046	117	139	0,17821	105
97	0,13163	117	140	0,17926	105
98	0,13280	117	141	0,18031	105
99	0,13397	116	142	0,18136	104
100	0,13513	116	143	0,18240	104
101	0,13629	116	144	0,18344	104
102	0,13745	115	145	0,18448	103
103	0,13860	115	146	0,18551	104
104	0,13975	115	147	0,18655	103

Temperatur-unterschied t° C.	Log. (1 + α t)	Differenz	Temperatur-unterschied t° C.	Log. (1 + α t)	Differenz
148	0,18758	103	191	0,22972	93
149	0,18861	102	192	0,23065	93
150	0,18963	102	193	0,23158	93
151	0,19065	102	194	0,23251	93
152	0,19167	102	195	0,23344	93
153	0,19269	102	196	0,23437	92
154	0,19371	101	197	0,23529	92
155	0,19472	101	198	0,23621	92
156	0,19573	101	199	0,23713	92
157	0,19674	101	200	0,23805	91
158	0,19775	100	201	0,23896	91
159	0,19875	100	202	0,23987	92
160	0,19975	100	203	0,24079	91
161	0,20075	100	204	0,24170	90
162	0,20175	100	205	0,24260	91
163	0,20275	99	206	0,24351	90
164	0,20374	99	207	0,24441	91
165	0,20473	99	208	0,24532	90
166	0,20572	98	209	0,24622	89
167	0,20670	99	210	0,24711	90
168	0,20769	98	211	0,24801	89
169	0,20867	98	212	0,24890	90
170	0,20965	98	213	0,24980	89
171	0,21063	97	214	0,25069	89
172	0,21160	97	215	0,25158	88
173	0,21257	97	216	0,25246	89
174	0,21354	97	217	0,25335	88
175	0,21451	97	218	0,25423	89
176	0,21548	96	219	0,25512	88
177	0,21644	96	220	0,25600	87
178	0,21740	96	221	0,25687	88
179	0,21836	96	222	0,25775	88
180	0,21932	96	223	0,25863	87
181	0,22028	95	224	0,25950	87
182	0,22123	95	225	0,26037	87
183	0,22218	95	226	0,26124	87
184	0,22313	95	227	0,26211	86
185	0,22408	94	228	0,26297	87
186	0,22502	95	229	0,26384	86
187	0,22597	94	230	0,26470	86
188	0,22691	94	231	0,26556	86
189	0,22785	94	232	0,26642	85
190	0,22879	93	233	0,26727	86

Temperatur-unterschied t° C.	Log. (1 + α t)	Differenz	Temperatur-unterschied t° C.	Log. (1 + α t)	Differenz
234	0,26813	86	267	0,29547	80
235	0,26899	85	268	0,29627	80
236	0,26984	85	269	0,29707	80
237	0,27069	85	270	0,29787	80
238	0,27154	85	271	0,29867	79
239	0,27239	84	272	0,29946	80
240	0,27323	85	273	0,30026	79
241	0,27408	84	274	0,30105	79
242	0,27492	84	275	0,30184	79
243	0,27576	84	276	0,30263	79
244	0,27660	84	277	0,30342	79
245	0,27744	83	278	0,30421	79
246	0,27827	84	279	0,30500	78
247	0,27911	83	280	0,30578	78
248	0,27994	83	281	0,30656	79
249	0,28077	83	282	0,30735	78
250	0,28160	83	283	0,30813	78
251	0,28243	83	284	0,30891	77
252	0,28326	82	285	0,30968	78
253	0,28408	82	286	0,31046	77
254	0,28490	83	287	0,31123	78
255	0,28573	82	288	0,31201	77
256	0,28655	82	289	0,31278	77
257	0,28737	81	290	0,31355	77
258	0,28818	82	291	0,31432	77
259	0,28900	81	292	0,31509	77
260	0,28981	81	293	0,31586	76
261	0,29062	82	294	0,31662	76
262	0,29144	81	295	0,31738	77
263	0,29225	80	296	0,31815	76
264	0,29305	81	297	0,31891	76
265	0,29386	80	298	0,31967	76
266	0,29466	81	299	0,32043	76

H. E.

Expansions-Dampfmaschine, s. Dampfmaschine S. 267.

Experiment, s. Beobachtung und Versuch.

Explosion detonirender Substanzen, s. Detonation.

Explosion von Dampfkesseln, s. Kessel-Explosion.

Druckfehler und Berichtigungen zum zweiten Bande.

Seite 594 Zeile 17 von unten statt Meckastein lies Mockastein.
= 594 = 17 = = = Litrin l. Citrin.
= 615 letzte Zeile statt $\overline{H}$ lies H = 1.
= 617 Zeile 20 von oben statt $Fe_3 Si$ lies $\dot{F}e_3 \ddot{S}i$.
= 618 = 9 = unten = monoklinischen l. monoklinoëdrischen.
= 620 = 11 = = = Eisensulfurat l. Eisensulfuret.
= 620 letzte Zeile statt Lémeny's l. Lémery's.
= 621 Zeile 8 von oben statt Pentagontedakaëders l. Pentagondodekaëders.
= 621 = 21 = = = Nißpickel l. Mißpickel.
= 621 = 22 = = = $Fe S + Fe_2 As_2$ l. $Fe S + Fe_2 As_3$.
= 622 = 12 = unten = Hochofen l. Hohofen.
= 623 = 20 = = = Flaschen oder Gängen l. Flossen oder Gänzen.
= 625 = 4 = = = halbgrauer l. hellgrauer.
= 626 = 24 = oben = Schlamm l. Schlacke.
= 712 = 4 = unten = Chevaudier l. Chevandier.
= 725 = 13 = = = das l. des.
= 734 = 6 = = = elektrischen Elementen l. Elementen.
= 735 = 13 = = = 1 : 2 : 3 l. $1 : \frac{1}{4} : \frac{1}{9}$.
= 741 in der Note statt Draht l. Funke.
= Zeile 10 von unten ist zu lesen: diejenigen Spitzen, welche nur einen leuchtenden Stern oder eine Strahlenkrone zeigen, sind positiv elektrisch, solche dagegen, welche einen län-geren Lichtbüschel zeigen, sind negativ elektrisch, indem sie das E von verschiedenen Seiten her empfangen.

Seite 764 Zeile 19 von oben statt eigentlichen lies eigenthümlichen.
= 765 = 1 = st. Gordan l. Gorden.
= 765 = 1 = = Gealath l. Gralath.
= 766 = 7 = unten st. Pape l. Page.
= 868 = 10 = oben = Planat l. Planet.

Druck von Otto Wigand in Leipzig.